

VISIT...

LANZAROTE
Caliente.COM

включается контактор двигателя конвейера 1 и своим вспомогательным контактом *КЛ1* (рис. 5-11, в) позволяет включить контактор *КЛ3* двигателя конвейера 3.

Если требуется, чтобы конвейер 3 подавал материал на конвейер 2, то шибер перекрывает левый рукав воронки и открывает гравий; при этом замыкается контакт *ВК2* и последовательно включаются двигатели конвейеров 2 и 3. Остановка двигателей конвейеров 1 и 2 или закрытие соответствующего рукава воронки шибером вызывает отключение контактора *КЛ3* и остановку двигателя конвейера 3.

Для управления электроприводами конвейеров и ПТС широко используется обычная релейно-контактная аппаратура: электромагнитные контакторы с поворотным и прямоходовым якорем (серий *КТ64*, *МК* и др.), автоматические выключатели с комбинированными расцепителями (серий *АП50*, *АЕ2000* и др.), путевые и конечные выключатели, кнопки управления (типов *КЕ171*, *КМЕ5000* и др.).

В последние годы для автоматического управления механизмами непрерывного транспорта все больше применяется электроаппаратура слабого тока: малогабаритные реле *МКУ-48*, телефонные и кодовые реле *РКН*, *РПН* и *КДР-1*, шаговые искатели, а также бесконтактная аппаратура: индуктивные датчики, логические элементы и состоящие из них устройства (ячейки, модули и др.).

Применение аппаратуры слабого тока дает возможность уменьшить габариты панелей и пультов управления, сокращает расход соединительных проводов, уменьшает мощность цепей управления, увеличивает безопасность обслуживания, так как в этом случае используется напряжение 48—60 В. Бесконтактные аппараты применяются как для управления, сигнализации и учета транспортируемых грузов, так и для коммутации в цепях силовых элементов.

Для дистанционного и централизованного управления конвейерами и ПТС широко применяют средства телемеханики (телесигнализация и телеконтроль) и управляющие электронные машины, позволяющие следить за наличием нужных деталей в цехах, давать команду об изменении адреса следования грузов и т. д. [10].

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О МЕТАЛЛОРЕЖУЩИХ СТАНКАХ

6-1. КЛАССИФИКАЦИЯ МЕТАЛЛОРЕЖУЩИХ СТАНКОВ

Металлорежущие станки являются распространенными производственными машинами, предназначенными для механической обработки заготовок из металла режущими инструментами. Путем снятия стружки заготовке придаются требуемая форма, размеры и чистота поверхности. На электромашиностроительных заводах механическая обработка занимает значительное место в общем процессе изготовления электрической машины в условиях крупносерийного и массового производства.

В зависимости от характера выполняемых работ, вида применяемых инструментов и формы образуемой поверхности металлорежущие станки подразделяются на следующие девять групп: 1) токарные; 2) сверлильные и расточные; 3) шлифовальные; 4) комбинированные; 5) зубо- и резьбообрабатывающие; 6) фрезерные; 7) строгальные и долбежные; 8) отрезные; 9) разные. Внутри групп станки подразделяются на типы (модели).

В зависимости от технологических возможностей обработки деталей разных размеров, форм и от характера организации производства различают станки: 1) универсальные и широкого назначения, служащие для выполнения различных операций (например точения, сверления, нарезания резьбы и др.) и способов обработки (например, фрезерования и растачивания отверстий) при обработке изделий многих наименований и типоразмеров; такие станки применяются при штучном и мелкосерийном производстве в ремонтных цехах, мастерских и т. д. 2) специализированные, предназначенные для обработки деталей, сходных по форме, но имеющих различные размеры; такие станки используются в серийном производстве; 3) специальные, служащие для обработки деталей одного типоразмера; станки такого вида применяются в крупносерийном и массовом производствах.

По массе и размерам различают станки: нормальные, имеющие массу до $10 \cdot 10^3$ кг; крупные — массой от 10 до $30 \cdot 10^3$ кг; тяжелые — от 30 до $100 \cdot 10^3$ кг и уникаль-

ные — свыше $100 \cdot 10^3$ кг. По точности обработки различают станки нормальной, повышенной, высокой и особо высокой точности (прецизионные).

6-2. ОСНОВНЫЕ И ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЕ ДВИЖЕНИЯ В СТАНКАХ, КИНЕМАТИЧЕСКИЕ СХЕМЫ

Процесс получения на станках деталей определенной формы поверхности и размеров состоит в снятии с заготовки лишнего металла инструментом, режущая кромка которого перемещается относительно заготовки. Необходимое относительное перемещение создается в результате сочетания движений инструмента и заготовки. Они называются основными или рабочими движениями. Их разделяют на главное (режущее) движение (за счет него инструмент производит резание металла) и движение подачи, которое служит для перемещения инструмента или обрабатываемой заготовки (в зависимости от типа станка) для снятия слоя металла с целью придания детали определенной формы.

В зависимости от вида обработки основные движения могут иметь различный характер. Так, при строгании сочетаются поступательное движение детали или инструмента (движение резания) и перпендикулярное к нему поступательное движение инструмента (подачи); при токарной обработке происходит вращение заготовки и поступательное движение инструмента (см. рис. 7-3); фрезерование осуществляется путем сочетания вращательного движения инструмента и поступательного движения заготовки; при сверлении оба основных движения совершает инструмент (см. рис. 8-1) и т.д.

Главные движения в станках осуществляются обычно при помощи электроприводов (иногда применяются и гидроприводы), движения подачи — либо через механическую передачу от главного привода, либо от отдельных электро- или гидроприводов.

Кроме основных движений в станках имеются вспомогательные движения. Они непосредственно не участвуют в процессе резания, но необходимы для обработки изделий, например: для установки инструмента, автоматического подвода его к заготовке и обратного отвода, контроля размеров в процессе обработки, подачи смазки и охлаждающей жидкости и т. д.

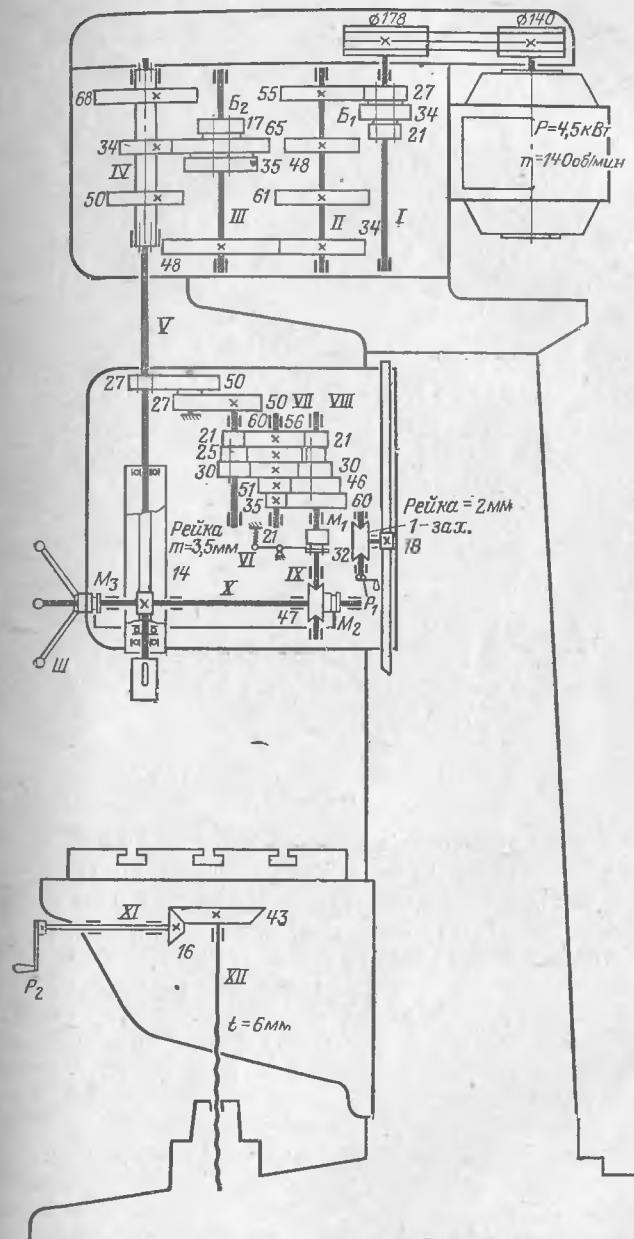


Рис. 6-1. Кинематическая схема вертикально-сверлильного станка.

Передача движений в станках от двигателей к рабочим органам осуществляется кинематическими цепями механизмов станка. Структуру этих цепей, их взаимные связи и особенности можно проследить по кинематической схеме станка. По такой схеме легко рассчитываются скорости движения рабочих органов станка или, наоборот, по заданным скоростям движения рабочих органов находятся требуемые значения угловой скорости двигателей. Кинематическая схема нужна также для определения моментов, действующих на валу двигателя, КПД и т.п.

В качестве примера рассмотрим кинематическую схему вертикально-сверлильного станка 2А135. Главное движение станка — вращение шпинделя V (рис. 6-1). Движение от двигателя через клиноременную передачу $\varnothing 140$ — $\varnothing 178$ передается на вал I коробки скоростей, на котором находится тройной подвижный блок B_1 , обеспечивающий валу II три частоты вращения. От вала II через шестерни 34—48* вращение передается валу III, на нем расположен тройной подвижный блок шестерен B_2 , приводящий в движение полый вал IV, связанный шлицевым соединением со шпинделем V, который имеет девять частот вращения. Частота вращения шпинделя при соединении шестерен, указанных на рис. 6-1, с учетом упругого скольжения ремня передачи

$$n_{\text{шп}} = 1440 \cdot 0,985 \frac{140 \cdot 27 \cdot 34 \cdot 65}{178 \cdot 55 \cdot 48 \cdot 34} = 742 \text{ об/мин.}$$

Движение подачи осуществляется от шпинделя V через шестерни 27—50, коробку подач (в которой расположены трех- и четырехступенчатые блоки шестерен с выдвигными шпонками), предохранительную муфту M1 (служит для защиты механизма подач от поломок при перегрузках), вал IX, червячную передачу 1—47, зубчатую муфту M2, вал X и реечную шестерню 14, которая находится в зацеплении с рейкой, нарезанной на гильзе шпинделя. Наибольшая подача s_{max} определяется из выражения

$$s_{\text{max}} = 1 \cdot \frac{27 \cdot 27 \cdot 30 \cdot 60 \cdot 1}{50 \cdot 50 \cdot 51 \cdot 21 \cdot 47} \cdot 3,14 \cdot 3,5 \cdot 14 = 1,6 \text{ мм/об.}$$

* Здесь и далее, а также на рис. 6-1 указанные цифры обозначают количество зубьев у шестерен.

Вспомогательные движения производятся вручную. Перемещение шпиндельной бабки осуществляется от рукоятки P_1 через червячную передачу 1—32 и реечную шестерню 18, сцепленную с рейкой $m=2$ мм, закрепленной на станине. Вертикальное перемещение стола производится посредством рукоятки P_2 через вал XI, конические шестерни 16—43 и ходовой винт XII. Быстрое перемещение шпинделя с гильзой достигается поворотом штурвала III, связанного специальным замком с валом X. Замок позволяет штурвалу свободно поворачиваться на валу X в пределах 20° , а при больших углах поворота — связывает их в одно целое.

6-3. ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ЭЛЕКТРОПРИВОДА СТАНКОВ

Требования к электроприводам основных и вспомогательных движений. Одним из важнейших вопросов электрооборудования металлорежущих станков является выбор типа электропривода для основных движений. На этот выбор оказывает влияние ряд факторов: 1) диапазон и плавность регулирования скорости рабочего механизма; 2) характер нагрузки привода; 3) частота включений привода; 4) соотношение периодов машинного и вспомогательного времени работы станка; 5) энергетические показатели работы привода — КПД и коэффициент мощности; 6) надежность привода, простота его обслуживания и наладки.

Регулирование скорости приводов главного движения станков производится в диапазоне от (3—6) до (100—120):1 и может быть осуществлено одним из следующих способов: 1) механическим — изменением передаточного отношения от двигателя к рабочему органу станка; 2) электрическим — изменением частоты вращения двигателя; 3) электромеханическим — комбинированием двух первых способов. При этом механическое регулирование, как правило, является ступенчатым, а электрическое может быть ступенчатым и бесступенчатым.

Следует отметить, что механические характеристики электродвигателей главных приводов должны быть жесткими. Перепад угловой скорости при изменении нагрузки на валу двигателя от холостого хода до номинальной не должен превышать 5—10%.

Нагрузка двигателя главного привода при регулировании скорости меняется по-разному для различных станков. Так, для станков с вращательным главным движением (токарных, карусельных, фрезерных и т.д.) мощность P , подводимая к шпинделю станка, на значительной части диапазона регулирования частоты вращения $D = n_{\max}/n_{\min}$ должна быть постоянной (рис. 6-2, а).

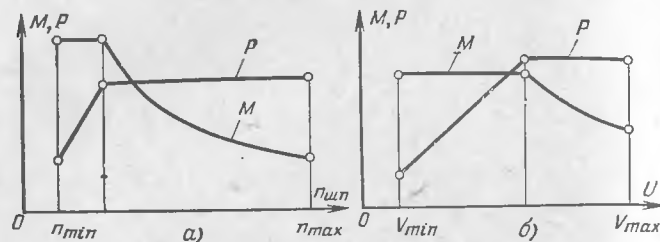


Рис. 6-2. Зависимости мощности и момента от частоты вращения и от скорости для главных приводов станков с вращательным (а) и возвратно-поступательным (б) движениями.

У станков с возвратно-поступательным главным движением, например продольно-строгальных, наоборот, на большей части диапазона регулирования при рабочем ходе сохраняется постоянство момента нагрузки M (рис. 6-2, б).

Приводы подачи современных станков характеризуются значительным диапазоном изменения скорости (до 1000:1 и более) при постоянстве момента нагрузки, определяемого наибольшим усилием подачи. Механическая характеристика привода подачи $\omega = f(M)$ должна быть жесткой.

Применяются следующие типы приводов подачи:

- 1) от главного привода через механическую передачу;
- 2) от отдельного электродвигателя; 3) от гидропривода.

Осуществление подачи от главного привода позволяет сохранить постоянным установленное соотношение между скоростью подачи и частотой вращения шпинделя (планшайбы) станка, что является обязательным для выполнения таких работ, как нарезание резьбы, фрезерование и шлифование зубчатых колес и т.д. Вместе с тем при таком способе невозможно плавное изменение скорости подачи в процессе резания и значительно усложняется кинематика станка.

Выбор типа электропривода металлорежущих станков. Для главных приводов токарных, фрезерных, расточных и других станков с редкими включениями, с небольшим диапазоном регулирования скорости при постоянной мощности применяют трехфазные короткозамкнутые асинхронные двигатели, простые в управлении, надежные и удобные в эксплуатации. Регулирование скорости рабочих органов в этом случае производится переключением шестерен в коробке скоростей станка. Применяют также многоскоростные асинхронные двигатели с переключением числа пар полюсов, что обеспечивает ступенчатое регулирование скорости и позволяет уменьшить размеры коробки передач.

На продольно-строгальных, кругло- и плоскошлифовальных и других станках, работающих с высоким диапазоном регулирования скорости при $M = \text{const}$ или в режиме частых реверсов, применяют системы электропривода с регулированием угловой скорости двигателей постоянного тока изменением напряжения на якоре, а именно Г—Д с МУ в качестве возбудителя, ТП—Д (тиристорный преобразователь — двигатель).

Привод подачи тяжелых токарных, карусельных, фрезерных, расточных и некоторых других станков часто выполняется от отдельного электродвигателя. Это упрощает кинематику станка и облегчает его автоматизацию. Момент сопротивления M_c на валу двигателя подачи создается в основном силами трения, возникающими при перемещении элементов станка. При пуске двигателя значение M_c будет больше, чем во время работы, так как коэффициент трения покоя $\mu_0 > \mu_{\text{движ}}$. Это обстоятельство следует учитывать при выборе типа двигателя.

Для отдельных электроприводов подачи небольших станков следует применять асинхронные короткозамкнутые двигатели с повышенным пусковым моментом (типа АОП, АС). Регулирование скорости подачи в этом случае производится изменением передаточного числа коробки скоростей или переключением числа пар полюсов двигателя. В тех случаях, когда требуется плавное изменение подачи (например, в тяжелых карусельных, фрезерных и шлифовальных станках), применяют двигатели постоянного тока с питанием их по системе ПМУ—Д, Г—Д или ТП—Д.

В последнее время получили широкое применение гидроприводы для осуществления поступательных дви-

жений узлов станков, например силовых головок в агрегатных станках, суппортов в гидрокопировальных и других специальных станках и т. п. Гидроприводы также применяются в зажимных устройствах станков для закрепления обрабатываемых деталей, в механизмах переключения передвижных блоков шестерен в коробках скоростей и т. п.

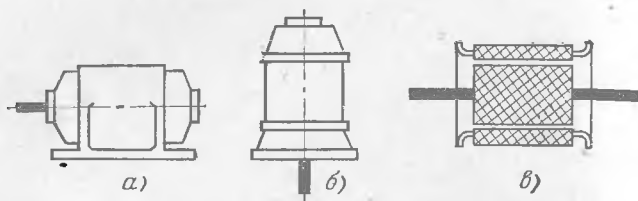


Рис. 6-3. Условные обозначения конструктивных исполнений электродвигателей на кинематических схемах станков.

а — на лапах; б — фланцевое; в — встроенное.

Выбор типа двигателей для станков. Для современного станкостроения характерно стремление приблизить двигатель к рабочему органу станка, это позволяет упростить кинематические цепи, снизить потери в передачах и сделать привод более компактным, что в свою очередь ведет к органическому слиянию электрической и механической частей станка. Это обстоятельство привело к применению на станках кроме двигателей нормального исполнения со станиной на лапах, двигателей специального исполнения со станиной без лап, имеющих фланец на подшипниковом щите. На рис. 6-3 показаны условные обозначения различных форм исполнения двигателей на кинематических схемах станков. Применение фланцевых двигателей, которые могут устанавливаться непосредственно на основание станка как горизонтально, так и вертикально, позволяет в ряде случаев упростить конструкцию станка, например, за счет изъятия конических шестерен, служащих для сочленения взаимно перпендикулярных валов, и осуществить более компактную встройку двигателя в станок.

Приводные двигатели станков должны быть защищены от вредного влияния окружающей среды (попадания в них машинного масла, эмульсии, металлической и абразивной пыли и др.). Если при работе станка не образу-

ется металлической пыли и исключено попадание в двигатель капель масла (эмульсии), то могут быть использованы защищенные двигатели. Во всех других случаях следует применять для привода станков закрытые двигатели с наружным обдувом или с естественным охлаждением.

Двигатели переменного тока выбирают из серии 4А с короткозамкнутым ротором одно- и многоскоростные, встраиваемые и повышенной точности (серий 4АВ и 4АП) преимущественно на синхронную частоту вращения, 3000 и 1500 об/мин. Двигатели постоянного тока выбирают из новой серии 2П или специальные закрытые двигатели с естественным охлаждением серий ПС (без тахогенератора), ПСТ и ПБСТ (с встроенным тахогенератором). Для следящих электроприводов используют малоинерционные двигатели с гладким якорем серии ПГТ, допускающие кратковременную перегрузку по току до $I_{\text{кратк}} \leq 8I_{\text{ном}}$ при номинальном магнитном потоке. Для систем программного управления применяют шаговые двигатели и двигатели с печатными обмотками якоря типа ПЯ, а также специальные малоинерционные высокомоментные ($M_{\text{кратк}} \geq 7M_{\text{ном}}$) двигатели постоянного тока типа ПБВ с возбуждением от постоянных магнитов.

6-4. РЕГУЛИРОВАНИЕ СКОРОСТИ ПРИВодОВ СТАНКОВ

Для наиболее полного использования режущего инструмента и станка обработка изделий должна производиться при так называемой экономически выгодной (оптимальной) скорости резания, которая при работе станка с соответствующей подачей и глубиной резания должна обеспечить обработку детали с необходимой точностью и чистотой поверхности при минимальных приведенных удельных затратах на обработку; производительность при этом будет несколько ниже наибольшей возможной. Оптимальная скорость резания зависит от твердости обрабатываемого материала, свойств материала и геометрии режущего инструмента, а также от характера обработки. На одном и том же станке могут обрабатываться детали разных размеров, из различных материалов и различными инструментами, что является причиной изменения режимов резания. Например, на токарных станках при постоянной частоте вращения шпинделя $n_{\text{шп}}$ с изме-

нением диаметра обработки $d_{обр}$ будет изменяться скорость резания, м/мин:

$$v_z = \pi d_{обр} n_{шп} / 1000. \quad (6-1)$$

Следовательно, частота вращения шпинделя станка определяется двумя факторами — диаметром $d_{обр}$ и скоростью резания v_z . Рациональное использование станка требует изменения частоты вращения шпинделя при изменении технологических факторов.

Регулировочные свойства механизмов станков характеризуются следующими показателями:

1) диапазоном регулирования D , который при вращательном движении рабочей части станка равен отношению максимальной угловой скорости (или частоты вращения) к минимальной

$$D = \frac{\omega_{шп, max}}{\omega_{шп, min}} = \frac{n_{шп, max}}{n_{шп, min}}, \quad (6-2)$$

для станков с поступательным движением — определяется отношением линейных скоростей: максимальной v_{max} к минимальной v_{min} , т. е.

$$D = v_{max} / v_{min}. \quad (6-3)$$

Примерные значения диапазона регулирования скорости для приводов главных движений D_r и приводов подачи D_p некоторых типов станков даны в табл. 6-1;

2) плавностью регулирования, которая определяется отношением скоростей на двух соседних ступенях регулирования i и $i+1$, т. е.

$$\varphi = n_{i+1} / n_i = \omega_{i+1} / \omega_i. \quad (6-4)$$

Это отношение называется коэффициентом регулирования.

С уменьшением коэффициента φ возрастает плотность регулировочного процесса, которая в значительной степени влияет на производительность станка. В практике станкостроения чаще всего применяются значения $\varphi = 1,12; 1,26; 1,41; 1,58$;

3) экономичностью регулирования, характеризующейся затратами на создание данной системы привода и стоимостью потерь энергии при регулировании скорости;

4) стабильностью работы привода, которая характеризуется перепадом скорости с изменением нагрузки на рабочем органе станка.

Таблица 6-1
Значения диапазонов регулирования скорости приводов главных движений и подачи

Тип станков	Диапазон регулирования для приводов	
	главного движения D_r	движения подачи D_p
Токарные (средние и крупные)	40—125	50—300
Карусельные (тяжелые)	40—100	100—7000
Радиально-сверлильные	20—100	5—40
Горизонтально-расточные (средние)	25—100	30—150
Фрезерные (универсальные)	20—40	100—600
Продольно-строгальные средних и больших размеров	10—30	50—100

Механическое ступенчатое регулирование скорости главных приводов. На многих станках и до настоящего времени применяют трехфазные односкоростные асинхронные двигатели с чисто механической системой регулирования скорости, осуществляемой путем переключения шестерен коробки скоростей. В современных конструкциях коробок скоростей переключения производятся дистанционно: с помощью электромагнитных фрикционных муфт, например в токарных станках средних размеров; гидравлических механизмов, например в тяжелых шлифовальных станках.

На рис. 6-4, а показан узел изменения угловой скорости вала II путем переключения шестерен при помощи трех электромагнитных фрикционных муфт ЭМ1—ЭМ3. На рис. 6-4, б приведен узел включения и реверсирования вала III при помощи механической фрикционной муфты (фрикциона) МФ, переключаемой гидроцилиндрами 1ГЦ и 2ГЦ, реверсивный золотник РЗ которых управляется электромагнитами 1Э и 2Э.

Ступенчатое механическое регулирование угловой скорости, осуществляемое переключением шестерен коробки скоростей, не обеспечивает для разных диаметров обработки наиболее выгодную скорость резания. Следовательно, станок при изменении $d_{обр}$ не может обеспечить высокую производительность. Кроме того, коробка скоростей представляет собой довольно сложную и громоздкую конструкцию, стоимость которой возрастает с увеличением числа ступеней.

Электромеханическое регулирование скорости главных приводов. Для упрощения кинематических схем станков небольших и средних размеров при ступенчатом регулировании угловой скорости применяют многоскоростные асинхронные короткозамкнутые двигатели (двух-, трех- и четырехскоростные). На рис. 6-4, в и г

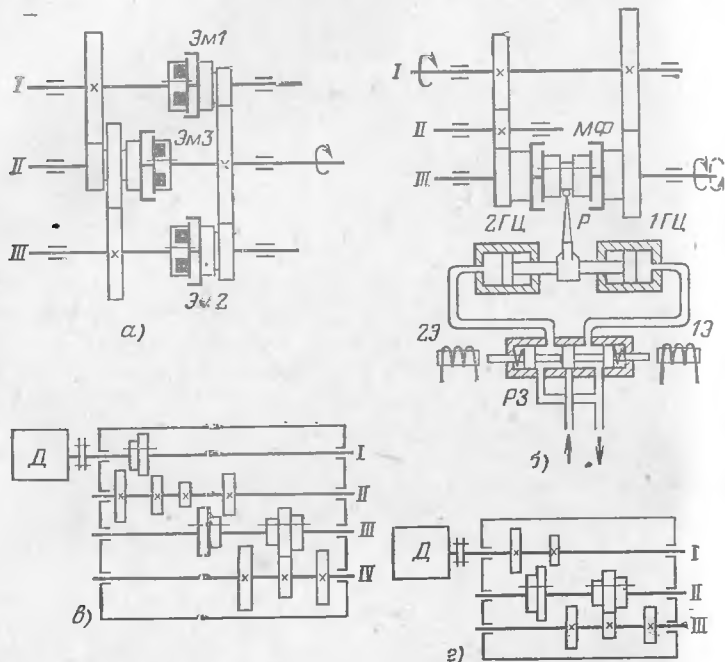


Рис. 6-4. Узлы переключения шестерен (а, б) и кинематические схемы коробок скоростей (в, г).

дано сопоставление кинематических схем коробок скоростей для получения на шпинделе 12 угловых скоростей при использовании для привода одно- и двухскоростного двигателя. Во втором случае количество шестерен уменьшилось на две, блоков переключения — на один, промежуточных валов — на один.

Более значительные результаты дает упрощение кинематических схем работающего при постоянстве мощности нагрузки главного привода тяжелых станков, в которых применяются двигатели постоянного тока незави-

симого возбуждения, позволяющие плавно регулировать угловую скорость с постоянством мощности изменением тока возбуждения двигателя в диапазоне $D_{эл} = (4-6) : 1$ при постоянном напряжении на якоре. Но так как требуемый диапазон регулирования скорости главных приводов станков $D \geq (80 \div 100) : 1$, то приходится вводить механическое регулирование (коробку скоростей) с диапазоном

$$D_{мех} = D/D_{эл} = (60 \div 120) : (4 \div 6) = (15 \div 20) : 1. \quad (6-5)$$

В некоторых случаях при комбинированной нагрузке диапазон электрического регулирования доводят до $(8-12) : 1$, используя при этом двигатели общепромышленного назначения, для которых обычно допускается $\omega_{тах} = (1,6 \div 2) \omega_{ном}$, и двухзонное регулирование скорости — ослаблением магнитного потока в диапазоне $D_{эл,ф} = (1,6 \div 2) : 1$ в зоне высоких скоростей, где обычно мощность нагрузки постоянна, и изменением подводимого к якору двигателя напряжения при $D_{эл,У} = (5 \div 6) : 1$ в зоне низких скоростей, где постоянен момент нагрузки. Если же во всем диапазоне $D_{эл}$ мощность нагрузки постоянна, то требуется завышение установленной мощности двигателя по крайней мере в $D_{эл,У}$ раз, что в большинстве случаев экономически невыгодно.

В обоих случаях коробка скоростей станка оказывается сравнительно простой, имеющей две — три механические ступени скорости.

Электрическое бесступенчатое регулирование скорости главных приводов. Такой способ регулирования применяется в станках, скорость главного привода которых регулируется в диапазоне $D \leq (8 \div 12) : 1$ и до $40 : 1$ при сохранении $M_c \approx \text{const}$ в значительной части диапазона. В этом случае коробка скоростей с переключающими блоками заменяется редуктором, который имеет более простую кинематическую схему.

В практике станкостроения для регулируемых приводов до настоящего времени широкое применение имеют приводы постоянного тока по системе Г—Д с ЭМУ в качестве возбудителя, обеспечивающие плавное регулирование скорости и достаточно хорошие динамические характеристики. Для сохранения стабильности скорости при изменении нагрузки применяют различные системы автоматического регулирования, в которых используют магнитные и полупроводниковые усилители.

В последние годы для таких приводов вместо электромашинных преобразователей, имеющих значительные габариты, невысокий КПД и большие эксплуатационные расходы, все большее применение получают статические преобразователи на управляемых полупроводниковых вентилях — тиристорах, обладающие следующими преимуществами: меньшей стоимостью силовых элементов; более высоким КПД; не требуется применение фундамента; эксплуатация вентильного преобразователя проще, а надежность выше в сравнении с электромашинным преобразователем.

Регулирование скорости приводов подачи. В приводах подачи, характерные особенности которых были отмечены в § 6-3, используется механическое и электромеханическое ступенчатое регулирование скорости, а также электрическое бесступенчатое регулирование. Мощность, необходимая для осуществления подачи, значительно меньше мощности главного привода, так как $v_{\text{под}} \ll v_{\text{гл. движ.}}$

В станках небольших и средних размеров (токарно-винторезных, сверлильных, зубофрезерных и др.) подача производится от главного привода через отдельную коробку передач, что позволяет сохранить постоянным установленное соотношение $v_{\text{под}}/n_{\text{шп.}}$, но в этом случае нельзя изменять скорость $v_{\text{под}}$ в процессе резания и усложняется кинематическая схема станка.

Коробка подач может быть упрощена при ступенчатом электромеханическом регулировании скорости, которое может быть осуществлено, например, при помощи многоскоростных асинхронных двигателей.

При таком способе регулирования двигатель выбирается такой мощности, чтобы он мог обеспечить наибольший приведенный к валу двигателя момент нагрузки $M_{\text{п. тах}}$ и наибольшую угловую скорость $\omega_{\text{тах}}$, пропорциональную $v_{\text{под. тах}}$, т. е. его номинальная мощность

$$P_{\text{ном}} \geq M_{\text{п. тах}} \omega_{\text{тах}} \cdot 10^{-3}, \quad (6-6)$$

и он будет полностью использоваться по мощности только при работе привода с максимальной скоростью. Выбранный двигатель необходимо проверить по пусковому моменту из условия возможности трогания с места, когда $\mu_0 > \mu_{\text{движ.}}$

Преимущества бесступенчатого электрического регулирования скорости приводов подачи остаются теми же, что и для главных приводов. В простейшем случае такой

привод можно осуществить с помощью электромагнитной муфты скольжения (ЭЛМ), связывающей асинхронный короткозамкнутый двигатель с механизмом подачи. Муфта состоит (рис. 6-5, а) из двух механически не связанных частей: ведущей (якоря) 1, выполненной из ферромагнитного материала и связанной непосредственно или через передачу с валом приводного двигателя Д,

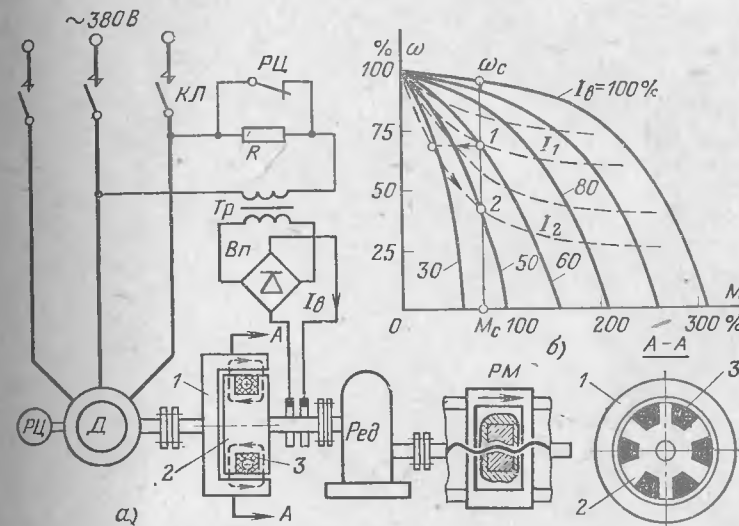


Рис. 6-5. Электропривод с электромагнитной муфтой скольжения.

а — схема включения элементов; б — механические характеристики муфты скольжения.

и ведомой части (индуктора, в продольные пазы которого закладывается обмотка возбуждения 3, присоединенная к контактным кольцам) 2, связанной жестко через редуктор $Ред$ с механизмом подачи $РМ$. Между якорем и индуктором имеется воздушный зазор. Якорь муфты вращается с такой же угловой скоростью, как и двигатель Д. Ведомая часть муфты при отсутствии в катушке тока неподвижна. Когда по катушке проходит ток возбуждения I_b , то создаваемый им магнитный поток будет пересекать якорь и наводить в нем вихревые токи, взаимодействие которых с магнитным полем индуктора создает вращающий момент, вследствие чего ведомая часть муфты приходит во вращение.

На рис. 6-5, б сплошными линиями показаны механические характеристики привода с ЭЛМ. При одном и том же токе возбуждения с возрастанием частоты вращения индуктора момент, передаваемый муфтой, уменьшается. С ростом тока I_b при неизменном значении M_c угловая скорость ведомого вала муфты возрастает.

Для стабильного регулирования скорости подачи необходимо иметь более жесткие характеристики (пунктирные кривые на рис. 6-5, б). Это достигается путем автоматического регулирования по выходному параметру системы, т. е. по угловой скорости. На рис. 6-5, а дана схема такого привода с центробежным регулятором угловой скорости, обеспечивающая диапазон регулирования до 8:1 при перепаде скорости не более 15%.

При пуске двигателя D контакт центробежного регулятора $PЦ$ остается замкнутым до тех пор, пока скорость ведомого вала не достигнет установленного значения, при котором центробежное усилие вызывает размыкание контактов $PЦ$. В цепь первичной обмотки трансформатора Tr вводится сопротивление R , это вызывает снижение напряжения $U_{2т}$ и уменьшение тока I_b . Следовательно, уменьшится момент муфты и скорость ведомого вала, а контакты регулятора $PЦ$ вновь замкнутся. Это приведет к увеличению момента муфты и возрастанию скорости и т. д. Такой режим вибрационного регулирования обеспечивает поддержание средней скорости муфты на заданном уровне, установка которого производится воздействием на винт центробежного регулятора, изменяющего степень сжатия пружины, при помощи которой производится замыкание контактов $PЦ$.

Путем введения обратной связи по скорости, осуществляемой тахогенератором и усилителем, можно обеспечить более точное регулирование скорости привода при большем диапазоне.

При работе муфты в якоре возникают выделяемые в виде тепла потери мощности, которые пропорциональны передаваемому моменту и скольжению. Коэффициент полезного действия привода $\eta_{ап}$ с электромагнитной муфтой определяется выражением

$$\eta_{ап} \approx \eta_{а,д} (1 - s), \quad (6-7)$$

где $\eta_{а,д}$ — КПД приводного асинхронного двигателя;
 s — скольжение муфты.

При глубоком регулировании скорости КПД привода резко уменьшается, поэтому привод с ЭЛМ целесообразно применять для механизмов подачи с максимальной мощностью до 1,2—1,5 кВт при диапазоне регулирования (4—6):1. Преимуществами такого привода являются:

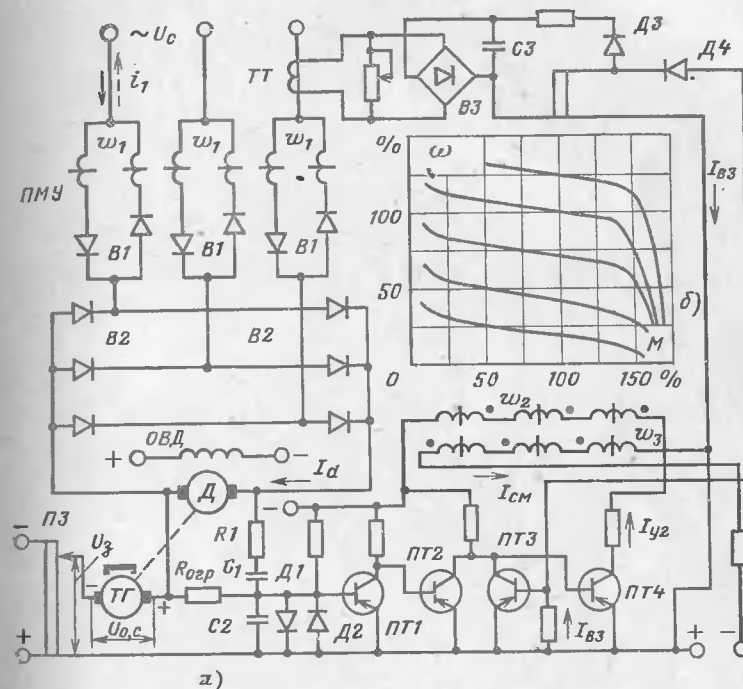


Рис. 6-6. Принципиальная схема электропривода серии ПМУ-П.

простота и надежность, плавность пуска и регулирования скорости, большой срок службы и удобство управления.

При необходимости более глубокого регулирования (свыше 10:1) для приводов подачи применяют двигатели постоянного тока, частота вращения которых регулируется изменением подводимого к якору напряжения, получаемого от отдельного управляемого преобразователя в виде ЭМУ, ПМУ или ТП. В настоящее время для регулируемых приводов подачи преимущественное применение имеет система ТП—Д.

На рис. 6-6, а приведена принципиальная схема привода серии ПМУ-П, разработанного в ЭНИМС и применяемого для подачи токарно-револьверных, шлифовальных и других станков. Якорь двигателя постоянного тока D питается от сети переменного тока через рабочие обмотки ω_1 трехфазного магнитного усилителя ПМУ через выпрямитель $B2$. Магнитный усилитель имеет две обмотки управления: задающую ω_2 , которая питается от отдельного выпрямителя через триод $ПТ4$; смещения ω_3 , магнитодвижущая сила (МДС), которой выбрана так, что при отсутствии тока в обмотке ω_2 магнитный усилитель закрыт.

Для получения жестких механических характеристик двигателя D (рис. 6-6, б) в системе имеется отрицательная обратная связь по скорости, осуществляемая при помощи тахогенератора $TГ$ и промежуточного усилителя ПУ на триодах $ПТ1$, $ПТ2$ и $ПТ4$. Задающее напряжение U_z , снимаемое с потенциометра $ПЗ$, сравнивается с напряжением U_{oc} тахогенератора, и их разность подается на вход усилителя ПУ, выходной сигнал которого поступает на обмотку ω_2 и определяет напряжение на якоре двигателя D . Вход усилителя шунтирован диодами $D1$ и $D2$, которые защищают триод $ПТ1$ от перенапряжений, возникающих при резких изменениях задающего напряжения (пуск, остановка и др.). Рассматриваемая схема имеет еще внутреннюю положительную связь, создаваемую постоянной составляющей тока в рабочих обмотках ω_1 , включенных последовательно с диодами $B1$. С ростом тока двигателя I_d увеличивается и постоянная составляющая I_a , что приводит к увеличению подмагничивания ПМУ, росту напряжения на его выходе и к соответствующей компенсации падения угловой скорости с увеличением нагрузки. Механические характеристики двигателя (рис. 6-5, б) в рассматриваемой схеме получаются достаточно жесткими, что обеспечивает регулирование угловой скорости в диапазоне до 100 : 1. В схеме имеется узел токовой «отсечки», состоящий из трансформатора тока $TТ$, выпрямителя $B3$, диодов $D3$ и $D4$ и триода $ПТ3$.

Недостатком приводов серии ПМУ-П является сравнительно большая инерционность. Повысить быстродействие привода, что важно для ограничения нагрузок механизмов подачи, возможно путем применения быстродействующих магнитных усилителей.

Более высоким быстродействием и жесткими механическими характеристиками обладают приводы с тиристорными преобразователями для управления двигателями постоянного тока, схемы которых будут рассмотрены ниже.

6-5. РЕЖИМЫ РАБОТЫ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ СТАНКОВ

Необходимая для работы станка мощность, а следовательно, и мощность, развиваемая приводным двигателем, в общем случае изменяются в процессе обработки детали. При изготовлении однотипных деталей с окончанием обработки одной из них станок останавливается, производится измерение и смена заготовки, причем на это время (t_0) двигатель обычно отключается или отключается посредством фрикционной муфты шпиндель, а двигатель продолжает работу на холостом ходу. Затем начинается обработка новой детали в течение времени t_p и т. д. Для обеспечения нормальной работы станка при подобной переменной нагрузке двигатель должен удовлетворять двум условиям: развивать наибольшую мощность, требуемую в процессе обработки, и не перегреваться свыше нормы при работе с переменной нагрузкой.

В продолжительном режиме с постоянной нагрузкой (S1) работают главные приводы крупных токарных, карусельных, шлифовальных, зубофрезерных и других станков. Номинальная мощность двигателя в этом случае должна быть выбрана равной или немного большей номинальной мощности станка, определяемой по наибольшей мощности резания.

Переключающийся режим работы с частыми реверсами (S7) характерен, например, для главного привода продольно-строгальных станков. Мощность двигателя здесь выбирается по нагрузочной диаграмме методом средних потерь или эквивалентных величин.

В повторно-кратковременном режиме (S3 или S4) работают электроприводы многих металло-режущих станков (например, сверлильных, заточных, автоматов и др.). Мощность двигателя в этом случае определяется также методом средних потерь или эквивалентных величин.

В кратковременном режиме (S2) работают вспомогательные приводы станков (например, приво-

ды быстрых перемещений суппортов и поперечин, приводы зажимных устройств и др.). Время работы вспомогательных приводов обычно незначительно и составляет 5—15 с для небольших станков и 1—1,5 мин для крупных станков. Номинальная мощность двигателя вспомогательных приводов определяется условиями перегрузки.

Машиностроительные предприятия имеют большой парк металлорежущих станков с асинхронными двигателями. Недогрузка этих двигателей приводит к увеличению непроизводительного расхода электроэнергии из-за снижения КПД двигателей и к уменьшению общего cos ϕ предприятия, так как в его электрической нагрузке возрастает доля реактивной мощности. В результате ухудшается использование мощности питающих предприятия трансформаторов и линий электропередачи, увеличиваются потери энергии в системе электроснабжения. Поэтому приходится устанавливать компенсирующие устройства, повышающие коэффициент мощности до нормы. С этой же целью следует стремиться к более полной загрузке двигателей и к сокращению или исключению холостого хода.

6-6. ВЫБОР СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ СТАНКОВ

Эксплуатационные качества станка, такие как производительность, удобство обслуживания и надежность работы, в большой степени зависят от системы управления его механизмами. Общее направление развития современного станкостроения — автоматизация операций управления рабочими движениями и максимальное упрощение операций управления вспомогательными движениями, которые иногда выполняются вручную. При автоматизации управления облегчаются условия труда рабочего-станочника, который освобождается от тяжелых физических усилий и монотонных утомляющих движений, от необходимости запоминания зачастую сложной последовательности выполнения операций по управлению станком.

В соответствии с назначением и конструктивными особенностями станка, а также характером технологического процесса, система управления станком разделяется обычно на ряд цепей, которые могут работать независи-

мо либо должны быть взаимно связаны или заблокированы. К системе управления станком предъявляются следующие требования:

1) *безопасность и удобство управления* — достигается расположением органов управления в легкодоступных местах, чтобы рабочему не приходилось много ходить вокруг станка;

2) *быстрота управления*, т. е. на операцию управления должно затрачиваться тем меньше времени, чем чаще она производится;

3) *точность системы управления*, которая устанавливается в зависимости от назначения системы и выполняемой ею функции.

В настоящее время в системах управления станками применяются механические, электрические, гидравлические, пневматические устройства и их сочетания.

Механические элементы и средства автоматизации широко используются для управления рабочими и вспомогательными движениями в станках-автоматах и полуавтоматах, предназначенных для крупносерийного и массового производства типовых деталей (например, в современных токарно-револьверных автоматах).

Гидравлическое управление находит широкое применение в агрегатных, копировальных и других станках благодаря его простоте, быстродействию, плавности хода элементов гидропривода, уменьшающему вибрацию станка. Гидравлические системы управления имеют и недостатки: связи между отдельными элементами осуществляются посредством рычагов и маслопроводов, что усложняет конструкции станков; при эксплуатации в гидросистеме могут нарушиться уплотнения и появляется течь; в станке постоянно находится большое количество масла, которое необходимо периодически менять.

В последние годы непрерывно расширяется применение в станкостроении пневматических устройств управления. Пневматические элементы и системы большей частью применяются в сочетании с гидравлическими или электрическими элементами. В таких системах движущая сила создается сжатым воздухом, а гидравлическая или электрическая аппаратура используется для регулирования скорости перемещения.

К настоящему времени наибольшее распространение получили электрические системы управления металлорежущими станками. Применение электрических элементов

и устройств управления облегчает проведение широкой унификации и стандартизации узлов станка, что снижает его стоимость.

Электрическая автоматизация станков обладает значительными преимуществами перед всеми другими способами автоматизации, обеспечивая удобную эксплуатацию и простую наладку станка, расширяя тем самым возможности создания и применения станков-автоматов. В некоторых случаях эффективно применение смешанных систем управления, например: гидравлики или пневматики для выполнения силовых функций, а электрических устройств — для управления ими. Такие системы управления получили название электрогидравлических или электропневматических.

6-7. ТИПОВЫЕ БЛОКИРОВОЧНЫЕ СВЯЗИ В СХЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ СТАНКАМИ

Для выполнения рабочего цикла в схемах автоматического управления станками должна быть взаимосвязь между различными режимами работы одного и того же механизма или между отдельными механизмами станка. В станках различных типов и модификаций можно отметить некоторые типовые взаимосвязи, призванные осуществлять следующие режимы.

а) *Наладочный и рабочий режимы станка.* В рабочем режиме привод станка работает длительно или повторно-кратковременно, что обуславливается выполнением производственных операций. Наладочные операции производятся для опробования отдельных узлов станка, для проверки правильности установки заготовки и инструмента. Этот режим характеризуется кратковременными включениями ненагруженного привода при малых угловых скоростях двигателя (если регулируется скорость привода). На рис. 6-7 приведены схемы согласования наладочного и рабочего режимов привода с асинхронным двигателем. Для длительного режима (рис. 6-7, а) нажимается кнопка *КнП*, получает питание контактор *КЛ*, который главными контактами включает двигатель *Д*, одновременно замыкающим контактом блокирует кнопку *КнП*, поэтому после кратковременного нажатия эта кнопка может быть отпущена.

Для наладочного режима используется двухконтактная кнопка *КнТолч*. При нажатии этой кнопки ее замыкающий контакт блокирует кнопку *КнП*, а через замыкающий контакт получает питание контактор *КЛ* и включается двигатель, который будет работать в течение времени воздействия на кнопку *КнТолч*. Кратковременными нажатиями на эту кнопку можно заставить двига-

тель работать в импульсном режиме со средней угловой скоростью, значительно ниже номинальной.

Взаимосвязь между наладочным и рабочим режимами может быть осуществлена путем введения промежуточного реле *РП* (рис. 6-7, б), заменяющего двухконтактную кнопку *КнТолч*. Аналогичные схемы для получения наладочного режима применяются в приводах с многоскорост-

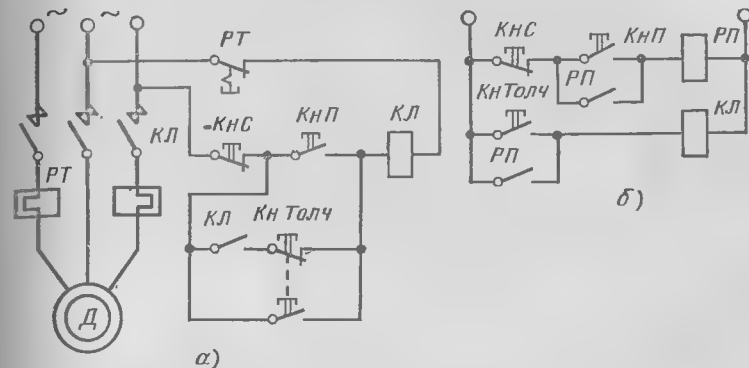


Рис. 6-7. Принципиальная схема взаимосвязи наладочного и рабочего режимов.

тельными асинхронными двигателями, а также в приводах постоянного тока, управляемых по системе Г—Д или ТП—Д.

б) *Ограничение перемещений и точная остановка механизмов станка.* Применяется для исключения столкновения между отдельными подвижными элементами или для предупреждения выхода узлов станка из нормального зацепления с ведущим звеном кинематической цепи. Например, в плоскошлифовальных, продольных строгально-фрезерных и других станках совершаемый столом путь ограничивается конечными выключателями, которые переключаются упорами, расположенными на столе (гл. 9).

На рис. 6-8, а показана схема отключения привода вращения обрабатываемого изделия круглошлифовального станка при выходе круга из зоны шлифования. В таких станках поступательное перемещение шлифовальной бабки производится обычно от гидропривода. В исходном положении механизма размыкается контакт конечного выключателя *ВК* и двигатель *Д* автоматически отключается. Для интенсивного торможения привода круга используется электромеханический тормоз *ЭмТ*.

Следует отметить, что гидравлические устройства позволяют просто обеспечить работу механизма подачи на жестком упоре, а затем изменить направление его перемещения. На рис. 6-8, б показана принципиальная схема управления гидроприводом подачи станка. При подходе к крайнему положению механизм становится на жесткий

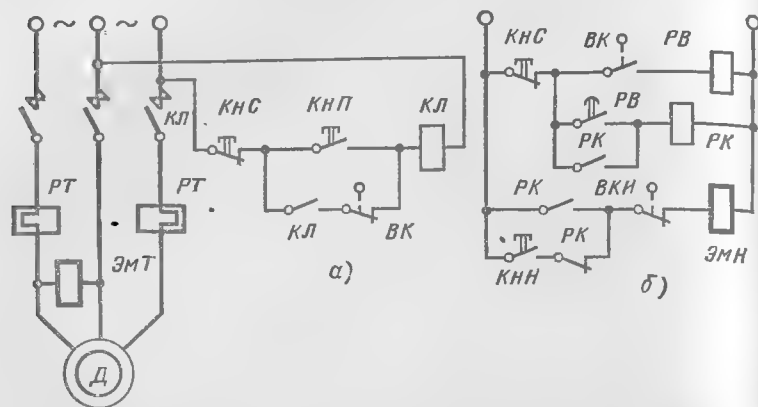


Рис. 6-8. Схемы отключения двигателя при ограничении перемещения механизма.

а — для привода вращения изделия круглошлифовального станка; б — для гидропривода подачи агрегатного станка.

упор, срабатывает конечный выключатель ВК и реле времени РВ начинает отсчет длительности остановки на упоре. По истечении установленной выдержки времени включается промежуточное реле РК и дается импульс на включение электромагнита ЭМН, который переключает гидропривод на отвод механизма в исходное положение, контролируемое выключателем ВКИ.

в) *Согласование работы отдельных приводов.* В крупных станках между отдельными рабочими органами часто не бывает механической связи, поэтому возникает необходимость в определенной последовательности введения их в работу, а также должна соблюдаться очередность отключения главного привода и привода подачи, должна своевременно подаваться смазка и т. д. Так, в металлорежущих станках, имеющих отдельный привод подачи, во избежание поломки инструмента главный привод должен включаться первым. При поступлении команды на отключение, наоборот, главный привод должен останавливаться после остановки привода подачи.

Указанную последовательность работы приводов обеспечивает схема, показанная на рис. 6-9.

Первоочередность включения главного привода здесь обеспечивается введением в цепь катушки контактора КЛ замыкающего контакта контактора КГ. При неработающем приводе подачи контактор главного привода КГ отключается без выдержки времени после нажатия кнопки КНС1. Для отключения главного привода при работающем приводе подачи следует длительно нажать на

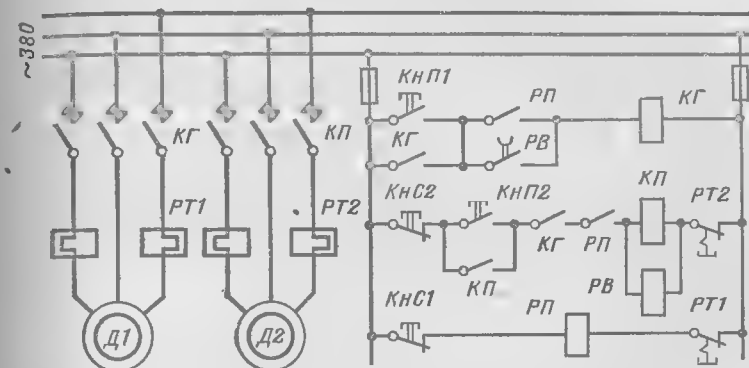


Рис. 6-9. Схема согласования работы главного привода и привода подачи станка.

кнопку КНС1. При этом теряет питание промежуточное реле РП, обесточивается контактор КЛ и отключается двигатель подачи Д2. Отключение главного привода с двигателем Д1 произойдет через некоторое время, обусловленное уставкой реле времени РВ, катушка которого подключена параллельно катушке контактора КЛ. При кратковременном воздействии на кнопку КНС1 вновь включится реле РП, и если к этому моменту реле РВ не сработало, то главный привод не отключится после отключения привода подачи.

6-8. ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ АППАРАТУРА УПРАВЛЕНИЯ СТАНКАМИ

В системах управления станков и автоматических линий нашли широкое применение низковольтные электрические аппараты, серийно выпускаемые отечественной промышленностью: магнитные пускатели, контакторы, реле напряжения и тока, электромагниты и электромагнитные муфты, путевые выключатели и переключатели, автоматические выключатели и др.

Рассмотрим технические особенности новых типов управляющих аппаратов, многие из которых специально спроектированы для использования на станках.

Магнитные пускатели серий ПАЕ и ПМА предназначены для дистанционного управления асинхронными двигателями с короткозамкнутым ротором мощностью 17—75 кВт при напряжении сети 380 В, а также для защиты их от продолжительных перегрузок и токов, возникающих при обрыве одной из фаз. Основное исполнение пускателей: с электромагнитом постоянного и переменного тока, реверсивные и нереверсивные, с тепловым и без теплового реле, открытого и защищенного исполнения, без кнопок и с кнопками управления и сигнальной лампой. Номинальный ток контактов главной цепи пускателя 40, 63, 110 и 160 А, контактов вспомогательной цепи — 6 А.

Для защиты силовых цепей от к. з. и чрезмерных перегрузок в последние годы широкое применение получили автоматические выключатели (автоматы). Отечественная промышленность выпускает однополюсные автоматические выключатели для однофазного переменного тока, трехполюсные для трехфазного тока и двухполюсные для постоянного тока. Трехполюсный автоматический выключатель может быть снабжен: тремя электромагнитными расцепителями максимального тока, которые практически мгновенно ($t_{отк} \approx 0,015 \div 0,02$ с) отключают аппарат при токах, превышающих номинальный в 6—10 раз, или тремя тепловыми расцепителями, которые отключают аппарат при продолжительных перегрузках на 25% за время не более 20 мин, и на 200—250% в течение 5—30 с.

Применяются также автоматические выключатели с комбинированными расцепителями (токовыми, тепловыми и минимального напряжения). Автоматический выключатель одновременно заменяет вводный выключатель, предохранители и тепловые реле. Их применение обеспечивает при срабатывании защиты отключение всех трех фаз. В станкостроении получили применение следующие типы автоматических выключателей:

АП50 — на $I_{ном} = 50$ А при номинальном напряжении до 380 В переменного тока и 220 В постоянного тока, с номинальными токами расцепителей от 1,6 до 50 А, ток мгновенного срабатывания (отсечка) может устанавливаться 5,7 и 10 $I_{ном}$;

АК50 — на $I_{ном} = 50$ А при $U_{ном} \leq 400$ В переменного и 220 В постоянного тока, на $I_{ном,эм,расц}$ от 5 до 50 А при токах отсечки 5 и 10 $I_{ном}$. Для пуска и защиты асинхронных двигателей рекомендуется применять выключатели с $I_{отс} = 10 I_{ном}$, для защиты вентилях полупроводниковых преобразователей — с $I_{отс} = 5 I_{ном}$;

АЕ2000 — на $I_{ном} = 10, 25, 63$ и 100 А для установки в электрических цепях напряжением до 500 В переменного и до 220 В постоянного тока, с комбинированным расцепителем на $I_{отс} = 12 I_{ном} \pm 20\%$. Выключатели изготовляются с передним и задним присоединением проводов, имеют температурную компенсацию, позволяют регулировать ток уставки теплового расцепителя в пределах от 0,95 до 1,15 $I_{ном}$, могут быть встроены в комплектные устройства.

Тиристорные переключатели ПТМ предназначены для бесконтактного управления асинхронными двигателями мощностью до 5 кВт, электромагнитами и другими нагрузками переменного и постоянного тока и применяются для работы в системах электропривода и промышленной автоматики. При соответствующих соединениях с помощью ПТМ реализуются включение ($t_{вкл} \leq 10$ мс), отключение, реверс, динамическое торможение ($t_{отк} \leq 15$ мс) нагрузочных устройств при числе коммутируемых фаз до трех.

Реле токовые тепловые серии РТТ предназначены для защиты трехфазных двигателей с короткозамкнутым ротором от длительных перегрузок ($I_{пер} \leq 1,2 \div 1,3 I_{ном}$), а также от перегрузок, возникающих при обрыве одной из фаз. Реле выпускаются на номинальные токи 10, 25, 63 и 160 А, допускают регулирование тока несрабатывания в пределах $(0,85 \div 1,0) I_{ном,теп,элем}$, имеют ускоренное срабатывание при обрыве одной из фаз и другие особенности.

Реле промежуточные универсальные электромагнитные серии РПУ-4 предназначены для работы в цепях управления электроприводами напряжением до 440 В частоты 50 Гц и 220 В. Втягивающие катушки реле могут питаться как переменным током ($U_{ном,кат}$ от 12 до 440 В), так и постоянным ($U_{ном,кат}$ от 12 до 220 В), номинальный и длительно допустимый ток контактов — 6 и 10 А. Контактная система и частично электромагнит закрыты прозрачным кожухом от случайного прикосновения и попадания пыли.

Электромагнитные муфты. В станкостроении широко применяются многодисковые фрикционные электромагнитные муфты со смазкой, которые используются для пуска, торможения, реверсирования и дистанционного переключения на ходу ступеней скорости кинематических цепей станков в главном приводе и в приводах подачи. Электромагнитные муфты позволяют переключать скорости и подачи во время работы станка как вхолостую, так и под нагрузкой.

Выпускаемые электромагнитные муфты рассчитаны на номинальный передаваемый момент 250—1600 Н·м и в режиме проскальзывания передают момент 16—1000 Н·м. Для питания муфт используют постоянный ток напряжением 24 В, получаемый от полупроводниковых выпрямителей.

Глава седьмая

ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ ТОКАРНЫХ СТАНКОВ

7-1. НАЗНАЧЕНИЕ И УСТРОЙСТВО ТОКАРНЫХ СТАНКОВ

Станки токарной группы относятся к наиболее распространенным металлорежущим станкам и широко применяются на промышленных предприятиях, в ремонтных мастерских и т.п. В эту группу входят: универсальные токарные и токарно-винторезные, револьверные, токарно-лобовые, карусельные, токарно-копировальные станки, токарные автоматы и полуавтоматы.

На токарных станках производится обработка наружных, внутренних и торцевых поверхностей тел вращения цилиндрической, конической и фасонной формы, а также прорезка канавок, нарезка наружной и внутренней резьбы и т.д. Режущими инструментами на токарных станках служат в основном резцы, но применяются также и сверла, развертки, метчики, плашки и др.

Характерной особенностью станков токарной группы является осуществление главного движения за счет вращения обрабатываемой детали. Подача режущего инструмента производится путем поступательного перемещения суппортов.

Наибольшее применение получили универсальные токарно-винторезные станки, на которых выполняются

всевозможные токарные работы. В электромашиностроении на токарных станках производится обточка валов, подшипниковых щитов и других деталей электрических машин. На рис. 7-1 показан общий вид универсального токарно-винторезного станка. Основные узлы станка: станина 1, передняя (шпиндельная) бабка 2 с коробкой скоростей и шпинделем 3, суппорт 4, задняя бабка 5,

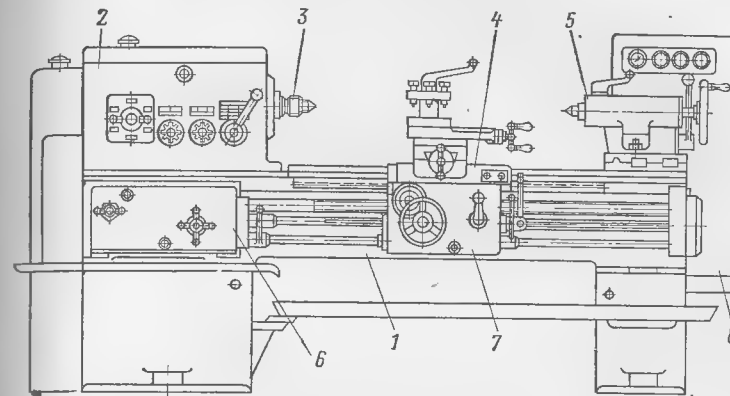


Рис. 7-1. Общий вид токарно-винторезного станка модели 1K62Б.

коробка подач 6, фартук 7 и шкаф с электрооборудованием 8.

Станина является основной несущей конструкцией станка. По направляющим станины перемещается нижняя каретка суппорта, а также задняя бабка. Шпиндель представляет собой полый вал, через который можно пропускать прутковый материал при обработке его на станке. На шпиндель навертывается патрон либо планшайба для закрепления обрабатываемого изделия, а также может устанавливаться передний центр при обработке изделия в центрах.

Суппорт служит для закрепления режущего инструмента (резца) и сообщения ему движений подачи: продольной и поперечной. Фартук соединен с нижней кареткой суппорта и перемещается вместе с ней вдоль станины. Движение суппорту передается через механизм фартука от ходового вала либо от ходового винта, которые получают вращение от коробки подач. Ходовой винт используется при нарезании резьб, ходовой вал —

при всех других видах обработки. Задняя бабка используется как вторая опора при обработке в центрах сравнительно длинных изделий. Она имеет выдвижную пиноль, в которой закрепляется задний центр или режущий инструмент для обработки отверстий — сверла, метчики, развертки и др.

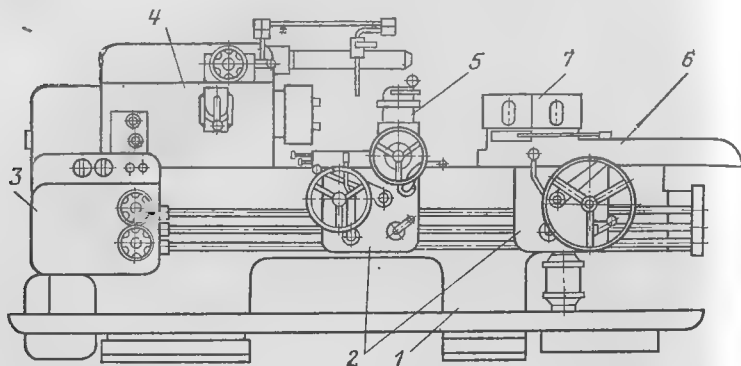


Рис. 7-2. Общий вид токарно-револьверного станка модели 1П365.

Токарно-револьверные станки предназначены для обработки в серийном производстве деталей сложной формы, в том числе болтов, гаек и др. Процесс обработки на этих станках состоит из нескольких последовательных операций, во время которых используются различные инструменты: резцы, сверла, метчики и др., закрепленные в так называемой револьверной головке, которая устанавливается на суппорте. В электромашиностроении токарно-револьверные станки применяются для обработки подшипниковых щитов, втулок и нажимных конусов коллекторов электрических машин. Применение этих станков повышает производительность труда в 2—3 раза по сравнению с обработкой на токарно-винторезных станках.

На рис. 7-2 показан общий вид токарно-револьверного станка, основными узлами которого являются: станина 1, фартуки 2 поперечного суппорта 5 и суппорта 6 револьверной головки, коробка подач 3, шпиндельная бабка 4, револьверная головка 7. При обработке заготовки инструменты поочередно вводятся в работу путем поворота револьверной головки вокруг своей оси. Суп-

порт с головкой может совершать быстрые продольные перемещения по направляющим станины. Револьверные головки обычно имеют шестигранную форму, режущие инструменты закрепляются в радиальных отверстиях (гнездах) головки.

Карусельные станки являются разновидностью токарных станков. Их применяют для наружной обточки

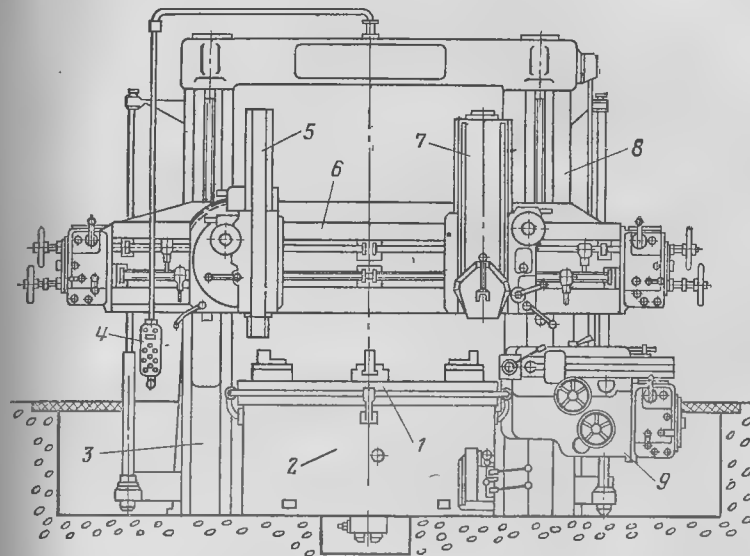


Рис. 7-3. Общий вид тяжелого карусельного станка модели 1553.

и внутренней расточки цилиндрических поверхностей, обточки торцов на крупных деталях большого диаметра (до 13 м и более), но сравнительно небольшой длины, например: заготовок зубчатых колес, дисков паровых турбин и др.

На рис. 7-3 показан общий вид тяжелого двухстоечного карусельного станка. Обрабатываемая деталь закрепляется на горизонтальной планшайбе 1, размещенной на станине 2, и обтачивается резцами, установленными на левом 5 и правом 7 верхних суппортах, а также на боковом суппорте 9. Верхние суппорты расположены на поперечине (траверсе) 6, которая перемещается по двум стойкам 3 и 8. Боковой суппорт может перемещаться вдоль стойки 8. Управление электроприво-

дами станка может осуществляться при помощи подвесной кнопочной станции 4.

Как уже отмечалось выше, станки токарной группы весьма разнообразны по назначению, которое и определяет их конструктивные особенности. Подробные сведения о конструкциях и кинематических схемах как токарных, так и других металлорежущих станков можно найти в [8].

7-2. ТИПЫ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ ТОКАРНЫХ СТАНКОВ

Диапазон регулирования частоты вращения шпинделя токарных станков достигает $(80-100):1$. При этом желательно иметь по возможности плавное ее изменение с тем, чтобы во всех случаях обеспечить наиболее выгодную скорость резания.

Для станков токарной группы, в которых главное движение является вращательным, требуется обычно постоянство мощности в большей части диапазона изменения скоростей и только в области малых скоростей — постоянство момента, равного наибольшему допустимому по условию прочности механизма главного движения (рис. 6-2, а). Малые частоты вращения предназначаются для специфических видов обработки: нарезания резьбы метчиками, обточки сварных швов и др.

В главных приводах токарных и карусельных станков широкого назначения малых и средних размеров основным типом привода является привод от асинхронного короткозамкнутого двигателя. Асинхронный двигатель конструктивно хорошо сочетается с коробкой скоростей станка, надежен в эксплуатации и не требует специального ухода. Регулирование частоты вращения шпинделя станка в таком приводе осуществляется путем переключений шестерен коробки скоростей.

В токарных станках малых размеров пуск, остановка и изменение направления вращения шпинделя часто производятся с помощью фрикционных муфт. Двигатель при этом остается подключенным к сети и вращается в одном направлении.

Для главного привода некоторых станков применяются многоскоростные асинхронные двигатели. Использование такого привода целесообразно, если оно приводит к упрощению коробки скоростей или когда требуется переключение скорости шпинделя на ходу.

Тяжелые токарные и карусельные станки, как правило, имеют электромеханическое ступенчато-плавное регулирование скорости главного привода с использованием двигателя постоянного тока. Сравнительно простая коробка скоростей таких станков дает две — три ступени угловой скорости, а в интервале между двумя ступенями осуществляется в диапазоне $(3-5):1$ плавное регулирование угловой скорости двигателя изменением его магнитного потока. Это, в частности, обеспечивает возможность поддерживать постоянство скорости резания при точении торцевых и конусных поверхностей. При наличии в заданном диапазоне частоты вращения шпинделя участка с постоянством момента нагрузки целесообразно применить двухзонное электрическое регулирование угловой скорости двигателя. Это позволяет упростить коробку скоростей (уменьшить число ступеней скорости) и повысить использование двигателя в зоне постоянства момента нагрузки. Особенностью главного привода карусельных станков является большой момент сил трения в начале пуска (до $0,8 M_{ном}$) и значительный момент инерции планшайбы с деталью, превышающий на высоких механических скоростях в 8—9 раз момент инерции ротора электродвигателя. Применение в этом случае электропривода постоянного тока обеспечивает плавный пуск с постоянным ускорением.

В цехах машиностроительных заводов обычно нет сети постоянного тока, поэтому для питания двигателей тяжелых станков устанавливают отдельные преобразовательные устройства: электромашинные (система Г—Д) или статические (система ТП—Д).

Бесступенчатое электрическое регулирование скорости (двухзонное) применяют при автоматизации станков со сложным циклом работы, что позволяет легко переналаживать их на любые скорости резания (например, некоторые токарно-револьверные автоматы). Бесступенчатое электрическое регулирование скорости главного привода используется также для некоторых прецизионных токарных станков. Но во всех этих случаях диапазон регулирования скорости при постоянстве мощности нагрузки не превышает $(4-5):1$, в остальной части диапазона регулирование ведется при постоянстве момента нагрузки. Привод подачи небольших и средних токарных станков чаще всего осуществляется от

главного двигателя, что обеспечивает возможность нарезания резьбы. Для регулирования скорости подачи применяются многоступенчатые коробки подач. Переключение ступеней производится вручную или с помощью электромагнитных фрикционных муфт (дистанционно).

В некоторых современных тяжелых токарных и карусельных станках для привода подачи используется отдельный широкорегулируемый электропривод постоянного тока. Угловая скорость двигателя изменяется в диапазоне до $(100-200):1$ и более; привод выполняется по системе ЭМУ—Д, ПМУ—Д или ТП—Д.

Для вспомогательных приводов токарных станков (ускоренное перемещение каретки суппорта, зажима изделия, насоса охлаждающей жидкости и др.) применяются отдельные короткозамкнутые асинхронные двигатели.

7-3. РАСЧЕТ МОЩНОСТИ ДВИГАТЕЛЕЙ ТОКАРНЫХ СТАНКОВ

Основные характеристики режима токарной обработки. Процесс обработки деталей на токарных станках происходит при определенных значениях величин, характеризующих режим резания. К ним относятся (рис. 7-4): глубина резания t , подача s (перемещение резца на один оборот шпинделя), скорость резания v , т.е. линейная скорость, с которой перемещается снимаемый слой металла (стружка) относительно резца.

Назначаемая скорость резания зависит от свойств обрабатываемого материала, материала резца, вида об-

работки, условий охлаждения резца и детали. Необходимое значение скорости резания, м/мин, может быть определено по следующей формуле:

$$v_z = \frac{C_v}{T^m t^{x_v} s^{y_v}}, \quad (7-1)$$

где T —стойкость резца (продолжительность работы резца до затупления), мин;

C_v —коэффициент, характеризующий свойства обрабатываемого материала, резца, а также вид токарной обработки (наружное точение, обреза, нарезание резьбы и др.);

t —глубина резания, мм;

s —подача, мм/об;

m, x_v, y_v —показатели степени, зависящие от свойств обрабатываемого материала, резца и вида обработки.

Глубину резания устанавливают, исходя из припуска на обработку. Для черновых (обдирочных) работ $t=3\div30$ мм, для чистовых работ $t=0,1\div2$ мм. Подача выбирается по условиям обеспечения максимальной производительности и требуемой чистоты обработанной поверхности. Для черновых работ $s=0,4\div3$ мм/об и более, для чистовых работ $s=0,1\div0,4$ мм/об. Скорость резания при обработке деталей из углеродистой стали резцами из быстрорежущей стали $v_z=30\div60$ м/мин.

В процессе токарной обработки на резец под некоторым углом к его режущей кромке воздействует усилие F , обусловленное сопротивлением металла резанию. Это усилие обычно принято разлагать на три составляющие (рис. 7-4):

F_v —радиальное усилие, передаваемое через резцедержатель на суппорт станка; F_x —осевое усилие, преодолеваемое механизмом подачи; F_z —усилие резания, преодолеваемое шпинделем станка.

Усилие резания, Н, может быть подсчитано по формуле

$$F_z = 9,81 C_{F_z} t^{x_{F_z}} s^{y_{F_z}} v_z^n, \quad (7-2)$$

где C_{F_z} —коэффициент, характеризующий обрабатываемый материал, материал резца и вид токарной обработки; x_{F_z}, y_{F_z}, n —показатели степени, зависящие от свойств обрабатываемого материала, резца и вида обработки.

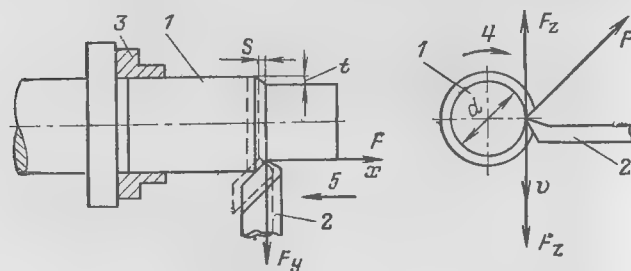


Рис. 7-4. Схема токарной обработки.

1—деталь; 2—резец; 3—шпиндель станка; 4—главное движение; 5—движение подачи.

- Значения коэффициентов и показателей степени в формулах (7-1) и (7-2) находятся из справочника по режимам резания. Между усилиями F_x , F_y и F_z существуют следующие соотношения (установленные опытным путем):

$$F_y = (0,3 \div 0,5) F_z \text{ и } F_x = (0,2 \div 0,3) F_z. \quad (7-3)$$

При известных значениях скорости и усилия резания можно определить мощность резания, кВт:

$$P_z = F_z v_z / 60 \cdot 1000. \quad (7-4)$$

Мощность, затрачиваемая на осуществление подачи суппорта, кВт, подсчитывается по формуле

$$P_{\Pi} = F_{\Pi} v_{\Pi} / 60 \cdot 1000, \quad (7-5)$$

где $F_{\Pi} = F_x + (F_z + F_y) \mu$ — суммарное усилие подачи, необходимое для перемещения суппорта с резцом в направлении подачи, Н; $\mu = 0,05 \div 0,08$ — коэффициент трения в направляющих суппорта; v_{Π} — скорость подачи, м/мин.

Следует отметить, что мощность подачи значительно меньше мощности резания: $P_{\Pi} \approx (0,001 - 0,01) P_z$, так как скорость v_{Π} во много раз меньше скорости v_z .

Важным фактором, определяющим производительность станка, является машинное или технологическое время обработки, мин:

$$t_m = l / n_{\text{шп}} s, \quad (7-6)$$

где l — длина обработки (прохода резца), мм; $n_{\text{шп}}$ — частота вращения шпинделя, об/мин; s — подача, мм/об.

Как следует из (7-6), машинное время можно сократить, увеличив либо подачу, либо частоту вращения шпинделя, т.е. скорость резания, ибо $v_z = \pi d n_{\text{шп}} / 1000$. Обработка металла с большими скоростями резания (до 300—400 м/мин) и соответствующими подачами получила наименование скоростного точения, которое возможно при использовании резцов, оснащенных пластинками из твердых сплавов или металлокерамики.

Определение мощности двигателей приводов токарных станков. Мощность на валу двигателя главного привода в установившемся режиме складывается из мощности резания, зависящей от усилия и скорости резания, и мощности потерь в механизмах передач, которая зависит от нагрузки, числа звеньев кинематической цепи и частоты вращения привода. При расчетах обычно

пользуются коэффициентом полезного действия станка, который определяется как произведение КПД отдельных звеньев кинематической цепи при работе на данной скорости:

$$\eta_{\text{ст}} = \eta_1 \eta_2 \eta_3 \dots \eta_i. \quad (7-7)$$

При увеличении частоты вращения рабочих органов станка потери в передачах увеличиваются, поэтому КПД станка уменьшается. Для станков токарной группы КПД кинематической цепи главного привода при полной нагрузке в среднем составляет 0,7—0,8. Для цепи подачи обычно $\eta = 0,1 \div 0,2$, так как здесь применяются замедляющие передачи, имеющие низкий КПД.

Мощность, кВт, на валу главного двигателя в установившемся режиме с учетом потерь в передачах определяется по формуле

$$P_{\text{дв}} = P_z / \eta_{\text{ст}}, \quad (7-8)$$

где $\eta_{\text{ст}}$ — КПД станка при данной мощности резания.

Токарные станки общего назначения (универсальные) могут работать в продолжительном режиме с номинальной нагрузкой. В этом случае мощность на валу двигателя, кВт,

$$P_{\text{ном}} = P_{z, \text{ном}} / \eta_{\text{ст, ном}}, \quad (7-9)$$

где $P_{z, \text{ном}}$, $\eta_{\text{ст, ном}}$ — соответственно номинальные мощность резания и КПД станка.

Из выражения (7-9) можно определить потери в станке при номинальной нагрузке

$$\Delta P_{\text{ст, ном}} = P_{z, \text{ном}} / \eta_{\text{ст, ном}} - P_{z, \text{ном}}. \quad (7-10)$$

При нагрузках станка, отличных от номинальной, потери определяются по формуле

$$\Delta P_{\text{ст}} = a P_{z, \text{ном}} + b P_z, \quad (7-11)$$

где a и b — коэффициенты постоянных и переменных потерь, для практических расчетов

$$a = 0,6 (a + b) \text{ и } b = 0,4 (a + b). \quad (7-12)$$

Суммарное значение коэффициентов a и b можно подсчитать по выражению

$$a + b = (1 - \eta_{\text{ст, ном}}) / \eta_{\text{ст, ном}}. \quad (7-13)$$

Если двигатель во время вспомогательных операций не отключается, то его нагрузка P_0 будет равна мощ-

ности потерь холостого хода станка $P_{ст0}$. Для практических расчетов потери холостого хода станка приблизительно принимаются равными

$$\Delta P_{ст0} \approx 0,6 \Delta P_{ст, ном} \quad (7-14)$$

При работе станков, в том числе и токарных, в продолжительном режиме с переменной нагрузкой и в повторно-кратковременном режиме расчет мощности двигателя производится, как правило, методом средних потерь или эквивалентных величин с использованием нагрузочных диаграмм привода. Построение нагрузочной диаграммы производится с учетом конкретных технологических условий работы того или иного станка при изготовлении наиболее часто обрабатываемых на нем деталей наибольших размеров [17].

7-4. ЭЛЕКТРОПРИВОД И СХЕМА УПРАВЛЕНИЯ ТОКАРНО-ВИНТОРЕЗНОГО СТАНКА

Главный привод и привод подачи большинства малых и средних токарных станков осуществляют от односкоростного асинхронного двигателя в сочетании с коробками скоростей и подач. На некоторых станках применяют двигатель постоянного тока, который в сочетании с коробкой скоростей осуществляет электро-механическое регулирование скорости.

В механических цехах машиностроительных заводов нашли широкое применение токарно-винторезные станки модели 1К62, которые используются в условиях индивидуального и мелкосерийного производства. Станок модели 1К62, общий вид которого показан на рис. 7-1, имеет следующие технические данные: 1) наибольший диаметр изделия, установленного над станиной, 400 мм; 2) наибольший диаметр обрабатываемого прутка 45 мм; 3) расстояние между центрами 1000 мм; 4) число ступеней частоты вращения шпинделя 23 (от 12,5 до 2000 об/мин).

Привод шпинделя и рабочей подачи суппорта осуществлен от асинхронного короткозамкнутого двигателя мощностью 10 кВт при 145 рад/с. Регулирование угловой скорости шпинделя производится переключением шестерен коробки скоростей с помощью рукояток, изменение продольной и поперечной подач суппорта — переключением шестерен коробки подач также посредством

соответствующих рукояток. Для быстрых перемещений суппорта служит отдельный асинхронный двигатель мощностью 1,0 кВт при 141 рад/с. Включение и выключение шпинделя станка, а также его реверсирование производится с помощью многодисковой фрикционной муфты, которая управляется двумя рукоятками. Вклю-

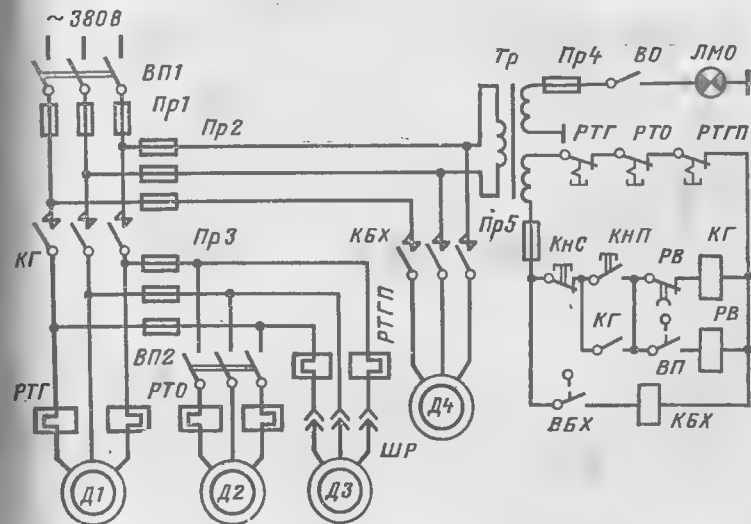


Рис. 7-5. Электрическая схема токарно-винторезного станка модели 1К62.

чение механической подачи суппорта в любом направлении производится одной рукояткой.

На рис. 7-5 представлена электрическая схема станка 1К62. Кроме главного двигателя Д1 и двигателя быстрых ходов Д4 на схеме показаны: двигатель насоса охлаждения Д2 и двигатель гидроагрегата Д3, присоединяемый через электрический разъединитель (штепсельный разъем) ШР в случае применения на станке гидрокopировального устройства.

Напряжение на станок подается включением пакетного выключателя ВП1. Цепи управления получают питание через разделительный трансформатор Тр с вторичным напряжением 110 В, что повышает надежность работы аппаратов управления. Такое питание цепей уп-

равления характерно вообще для большинства электро-схем металлорежущих станков.

Пуск двигателя *Д1* производится нажатием кнопки *КнП*, при этом включается контактор *КГ* и главными контактами присоединяет статор двигателя к сети, а вспомогательным контактом шунтирует пусковую кнопку. Одновременно пускаются двигателя насоса охлаждения (если включен пакетный выключатель *ВП2*) и гидроагрегата. Включение шпинделя производится поворотом вверх рукоятки управления фрикционной муфтой. При повороте этой рукоятки в среднее положение шпиндель станка отключается; одновременно нажимается пу-тевой переключатель *ВП* и включается пневматическое реле времени *РВ*. Если пауза в работе превышает 3—8 мин, то контакт реле *РВ* размыкается и контактор *КГ* теряет питание. Главный двигатель отключается от сети и останавливается, что ограничивает его работу вхолостую с низким значением $\cos \phi$ и уменьшает поте-ри энергии. Если пауза мала, то реле *РВ* не успевает сработать и отключение двигателя шпинделя не про-ойдет.

Для управления быстрым перемещением суппорта служит рукоятка на фартуке станка. При повороте этой рукоятки она нажимает на переключатель *ВБХ*, его контакт замыкает цепь катушки контактора *КБХ*, ко-торый включает двигатель *Д4*. Возврат рукоятки в сред-нее положение приводит к отключению двигателя *Д4*.

Станок имеет местное освещение. Питание лампы ЛМО производится напряжением 36 В от отдельной обмотки трансформатора *Тр*. В цепи лампы находятся предохранитель *Пр4* и выключатель *ВО*. Иногда один из выводов обмотки трансформатора низкого напряже-ния *Тр* присоединяют к газовой трубе, в которой проло-жен второй провод, питающий лампу. В качестве одного из проводов вторичной цепи местного освещения при напряжениях 12 и 36 В обычно используют станину станка.

Схемой управления предусмотрены: защита двига-телей *Д1—Д3* от длительных перегрузок тепловыми ре-ле *РТГ*, *РТО* и *РТГП*; от к.з. соответствующими плав-кими предохранителями. При кратковременных пере-грузках, возникающих на шпинделе, происходит проскальзывание фрикционной муфты и приводной дви-гатель отсоединяется от входного вала коробки скоро-

стей станка. Для быстрой остановки шпинделя станка служит установленный в передней бабке механический тормоз.

7-5. АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД ТОКАРНО-РЕВОЛЬВЕРНЫХ СТАНКОВ

На современных токарных, токарно-винторезных и револьверных станках широко применяется автоматиза-ция вспомогательных движений, а также дистанцион-ное управление механизмами станка. Особенностью то-карно-револьверных станков является автоматическое переключение скорости шпинделя и подачи без остано-вки станка, которое производится с помощью электромаг-нитных муфт, встроенных в коробку скоростей и короб-ку подач.

В качестве примера рассмотрим электропривод то-карно-револьверного станка модели 1П365 (см. рис. 7-2), предназначенного для обработки в патроне чугу-ных или стальных деталей диаметром до 500 мм, изгото-вление которых требует выполнения ряда последова-тельных операций: точения, сверления, растачивания, нарезания резьб и др. Заготовка закрепляется в самоцен-трирующем патроне, а необходимый для обработки ком-плект инструментов устанавливается в револьверной го-ловке с вертикальной осью поворота.

Электрическая схема управления станком приведе-на на рис. 7-6. Привод шпинделя осуществлен от асин-хронного двигателя *Д1* мощностью 14 кВт при 145 рад/с; двигатель *Д2* мощностью 1,7 кВт при 142 рад/с при-водит во вращение насос гидросистемы, а также исполь-зуется для получения быстрого продольного перемеще-ния двух суппортов станка; насос охлаждения вращает-ся двигателем *Д3* мощностью 0,125 кВт при 280 рад/с.

Угловая скорость шпинделя регулируется ступенча-то от 3,4 до 150 рад/с. Передвижение блоков шестерен в коробке скоростей производится гидроцилиндрами. В коробке скоростей находится также фрикцион, состо-ящий из двух муфт: одной — для включения прямого (правого) вращения шпинделя, другой — для обратного (левого) вращения. Включение этих муфт осуществля-ется гидроцилиндром, золотник которого соответственно переводится при помощи электромагнитов *Эм1* и *Эм2*. Муфты соединяют вал электродвигателя *М1* с коробкой

скоростей. Для быстрой остановки шпинделя в коробке скоростей предусмотрен гидравлический тормоз, управление которым осуществляется через специальный гидрозолотник с помощью электромагнита Эм3.

Подача суппортов осуществляется от главного привода. Скорость подачи регулируется механически пере-

движением блоков шестерен в коробке подач при помощи гидроцилиндров. Установка нужных скоростей шпинделя и подач производится посредством рукояток гидропереключателей, находящихся на фартуках суппортов и воздействующих на золотники соответствующих гидроцилиндров.

Все органы управления электроприводами станка находятся на пульте, помещенном на передней стенке коробки скоростей. Напряжение на схему управления подается вводным выключателем ВВ. Лампа местного освещения ЛО включается выключателем ВО. Включение электродвигателей Д1 и Д2 производится кнопкой КнП, отключение — кнопкой КнС1. Включение и отключение двигателя М3 насоса охлаждения производится пакетным выключателем ВН. В процессе разгона двигателя Д1 при угловой скорости $(0,2 \div 0,3) \omega_{ном}$ замыкается контакт реле контроля скорости РКС, подготавливающий к включению цепь быстрой остановки шпинделя, необходимой при переключении шестерен во время работы станка.

Для получения правого вращения шпинделя следует нажать кнопку Кн «Вправо». При этом срабатывает реле РП4 и замыкает свои контакты, блокируя замыкающий контакт кнопки, включая реле РП3 и подготавливая к включению электромагнит Эм1. Контакт реле РП4 включает также зеленую лампочку ЛС2. После отпускания кнопки Кн «Вправо» включается электромагнит Эм1 и шпиндель станка разгоняется до установленной угловой скорости. Если шпиндель из неподвижного положения необходимо пустить в сторону левого вращения, то нажимается кнопка Кн «Влево», при этом включается реле РП5, а после отпускания кнопки — электромагнит Эм2. Горит зеленая лампочка ЛС2. При обоих направлениях вращения шпинделя реле РП3 подготавливает к включению электромагнит Эм3, управляющий гидротормозом шпинделя.

Для изменения угловой скорости шпинделя или скорости подачи суппорта при работе станка (подключен к сети двигатель Д1 шпинделя и включен фрикцион) сначала устанавливается специальными гидропереключателями нужное значение скорости или подачи (предварительный выбор скорости или подачи), а затем нажимается кнопка Кн «Перекл». При этом включается и становится на самопитание реле РП2, гаснет зеленая лампочка ЛС2 и загорается красная лампочка ЛС1. Включается

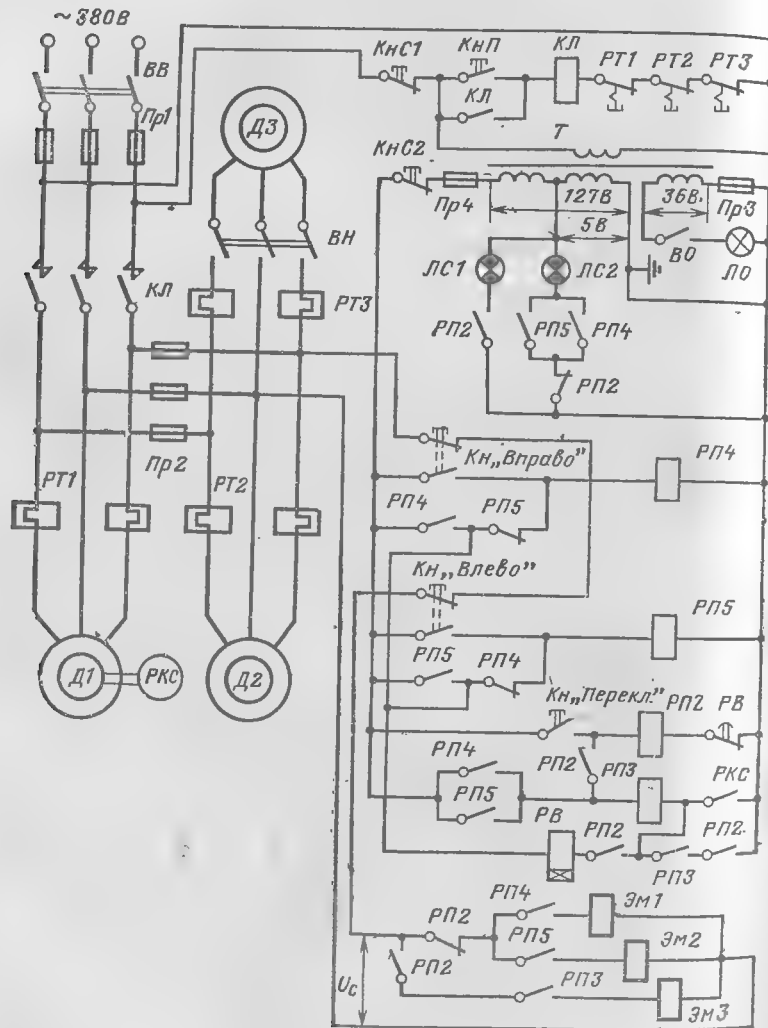


Рис. 7-6. Электрическая схема токарно-револьверного станка модели 1П365.

реле времени $PВ$. Отключается электромагнит $Эм1$ (при левом вращении — $Эм2$), и включается электромагнит $Эм3$. Происходит выключение фрикциона и быстрая остановка шпинделя гидротормозом, после чего гидроцилиндры переключают шестерни в коробке скоростей или коробке подач (при этом все валы и шестерни получают медленное вращение от специального гидромеханизма медленного проворота). К моменту завершения переключений размыкается контакт реле времени $PВ$, отключается реле $РП2$, электромагнит $Эм3$ и вновь включается электромагнит $Эм1$ или $Эм2$, что вызывает разгон и вращение шпинделя в прежнюю сторону, но с другой скоростью (или при другой подаче). Вновь загорается лампочка $ЛС2$.

Если переключение скоростей или подач производится при отключенном двигателе $Д1$ (отключен $КЛ$) либо когда двигатель еще не успел разогнаться (реле $РКС$ не сработало), то при нажатии $Кн$ «Перекл.» электромагнит $Эм3$ тормоза и реле $PВ$ не включаются ($РП3$ не сработало или отключено напряжение питания электромагнитов), поскольку в данном случае торможение шпинделя не требуется.

Чтобы переключить скорость при выключенном фрикционе (когда шпиндель не вращается, но двигатель $Д1$ остается включенным), следует установить гидрпереключатели предварительного набора скоростей и подач в нужное положение и затем одновременно нажать кнопки $Кн$ «Перекл.» и $Кн$ «Вправо» (или $Кн$ «Влево»), замыкающие цепь питания электромагнитов, и удерживать их (кнопки) в течение 2—3 с, пока не закончится переключение шестерен. Нажимать кнопки «Вправо» или «Влево» при таких переключениях необходимо для того, чтобы предотвратить включение электромагнита $Эм3$ через замкнутые контакты реле $РП2$ и $РП3$.

Для реверса шпинделя нажимается кнопка противоположного направления. Остановка шпинделя производится кнопкой $КнС2$, при этом электродвигатели $Д1$ и $Д2$ не отключаются.

7-6. ЭЛЕКТРОПРИВОД И СХЕМА УПРАВЛЕНИЯ ТЯЖЕЛОГО ТОКАРНО-КАРУСЕЛЬНОГО СТАНКА

Некоторые особенности главного привода тяжелых карусельных станков были отмечены в § 7-2. При выборе мощности и способа регулирования угловой скорости

главного двигателя следует учитывать, что в таких станках мощность, потребляемая механизмом планшайбы, не остается постоянной на всем диапазоне, как это имеет место в токарных станках, и поэтому нет необходимости

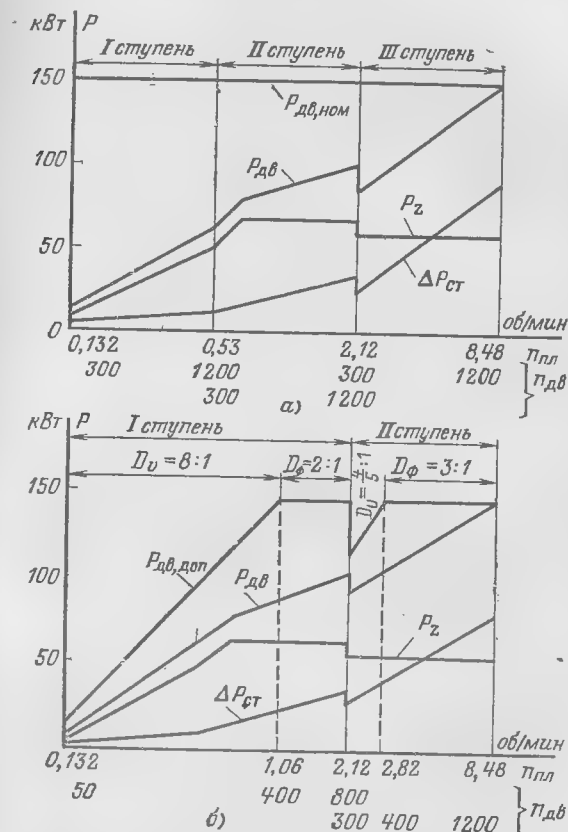


Рис. 7-7. Графики нагрузки главного привода тяжелого карусельного станка.

регулировать угловую скорость двигателя только ослаблением магнитного потока. Двигатель главного привода покрывает мощность, затрачиваемую на резание и на преодоление потерь трения в направляющих планшайбы и передачах коробки скоростей. На рис. 7-7, а показаны графики изменения мощности резания P_z , мощности по-

терь $\Delta P_{ст.}$ и суммарной мощности на валу двигателя $P_{дв}$ при изменении частоты вращения планшайбы на трех механических ступенях коробки скоростей. Учитывая, что привод может работать в продолжительном режиме с максимальной мощностью, номинальная мощность двигателя $P_{ном}$ должна быть выбрана по наибольшему значению суммарной мощности, равной $P_{дв, max} = 150$ кВт. Угловая скорость двигателя будет регулироваться ослаблением магнитного потока в диапазоне 300—1200 об/мин на каждой механической ступени. Из графиков видно, что двигатель не полностью загружен, особенно на ступенях *I* и *II*.

Загрузка главного двигателя может быть повышена, если заменить трехступенчатое механическое регулирование двухступенчатым с применением двухзонного электрического регулирования на каждой ступени — изменением напряжения и ослаблением потока двигателя. На рис. 7-7, б показан график допустимой мощности двигателя $P_{дв, доп}$ при двухступенчатом механическом регулировании: на ступени *I* общий диапазон электрического регулирования $D_{эл} = 16:1$, причем $D_U = 8:1$ и $D_\Phi = 2:1$; на механической ступени *II* для обеспечения необходимой мощности резания регулирование напряжением производится в диапазоне $4/3:1$, а ослаблением потока — $3:1$. Таким образом, общий диапазон электрического регулирования частоты вращения двигателя на ступени *II* составляет $4:1$. Такой способ регулирования приводит к упрощению кинематической цепи главного привода, к более полной его загрузке и к снижению габаритных размеров двигателя, так как уменьшается диапазон регулирования ослаблением потока и двигатель может быть выбран на более высокую номинальную частоту вращения [17].

В тяжелых карусельных станках, используемых в настоящее время различными промышленными предприятиями, для главного привода и приводов подач применяются двигатели постоянного тока, управляемые по системе Г—Д с ЭМУ в качестве возбудителя — для главных приводов, и по системе ЭМУ—Д — для приводов подачи. Более перспективной является система ТП—Д, которая внедряется на выпускаемых нашей промышленностью станках взамен системы Г—Д. Разработана серия электроприводов постоянного тока с двухзонным регулированием и тиристорными преобразователями для питания

якоря и обмотки возбуждения двигателей тяжелых карусельных станков.

В качестве примера рассмотрим электропривод карусельного станка модели 1565, предназначенного для обработки деталей диаметром до 5000 мм. Планшайба станка получает вращение от двигателя постоянного тока ($P_{ном} = 70$ кВт, $U_{ном} = 440$ В, $n_{ном} = 500$ об/мин, $n_{max} = 1500$ об/мин) через клиноременную передачу, двухступенчатую коробку скоростей с ручным переключением шестерен и коническую передачу.

Регулирование частоты вращения планшайбы производится в пределах от 0,4 до 20,7 об/мин. Угловая скорость двигателя может регулироваться изменением напряжения на якоре в диапазоне $D_U = 5,7$ и током возбуждения в диапазоне $D_\Phi = 3$. Привод подачи суппортов — от главного двигателя через коробку подач — обеспечивает 12 подач в пределах от 0,2 до 16 мм/об.

На рис. 7-8, а представлена упрощенная электрическая схема главного привода карусельного станка по системе ТП—Д с двухзонным регулированием скорости. Якорь двигателя Д питается от непереворачиваемого тиристорного преобразователя ТП1, собранного по трехфазной мостовой схеме и подключенного к питающей сети через токоограничивающие реакторы ТОР. Реакторы выполнены без стали и имеют постоянную индуктивность, которая выбирается такой, чтобы ограничить ток к. з. до $7 \div 8 I_{ном}$. Обмотка возбуждения двигателя ОВД питается от малоомощного реверсивного тиристорного преобразователя ТП2, подключаемого к сети ~ 380 В через трансформатор Тр2. Управление ТП2 осуществляется по зависимому принципу сигналом, пропорциональным напряжению на якоре двигателя, подаваемым датчиком напряжения ДН через резистор R2 и стабилитрон Ст3.

При угловой скорости двигателя ниже номинальной напряжение обратной связи на выходе ДН оказывается меньше напряжения пробоя стабилитрона Ст3 и сигнал управления не проходит на ТП2. При этом напряжение на его выходе обеспечивает номинальный ток возбуждения двигателя Д. Начальное (номинальное) значение тока возбуждения I_b задается регулятором РТВ. Задание угловой скорости двигателя в обеих зонах осуществляется регулятором РСГ, выполненным на базе ползункового потенциометра ПП3. Рукоятка регулятора имеет лимб со шкалой, по которой устанавливается требуемая

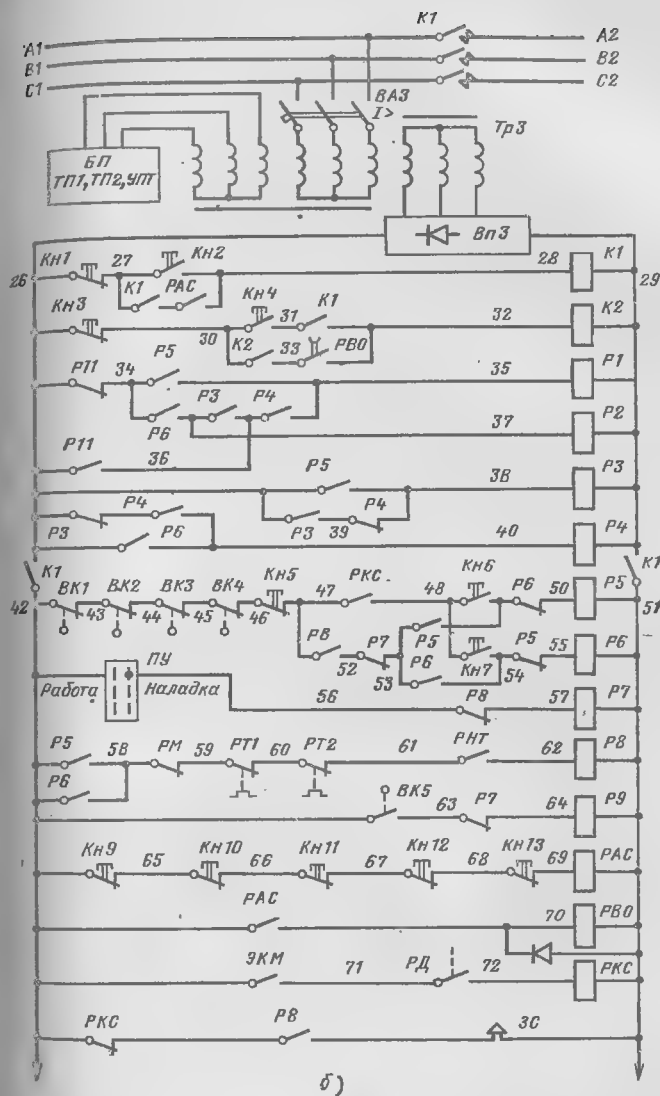
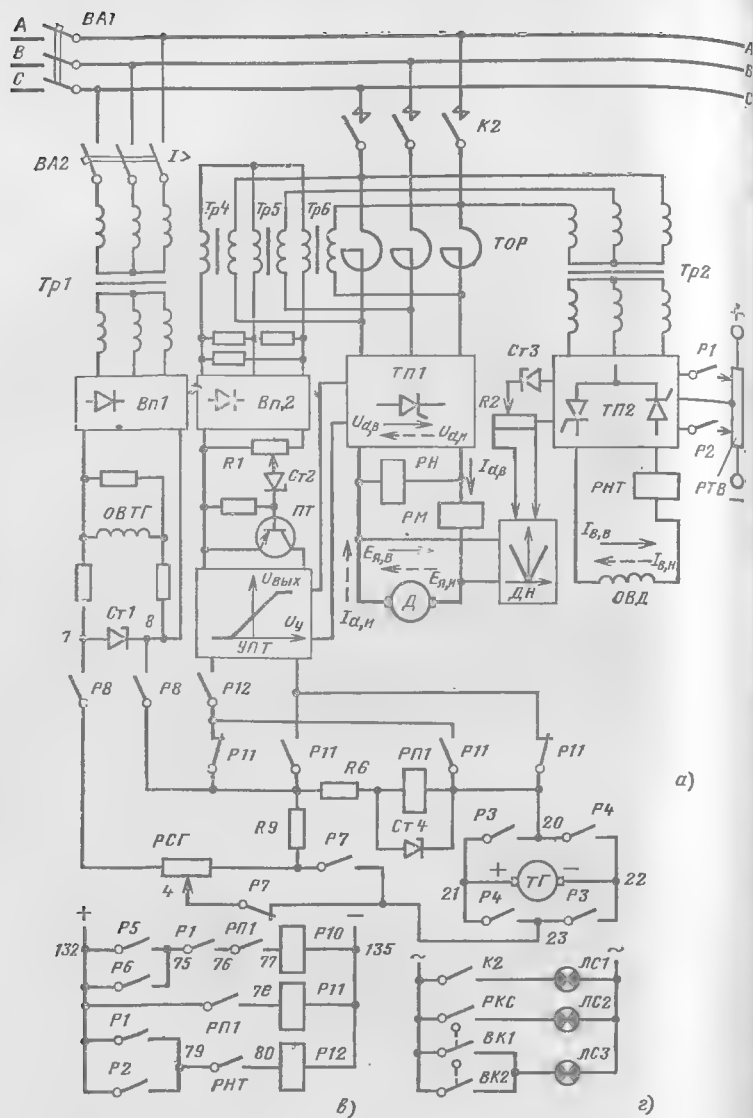


Рис. 7-8. Электрическая схема главного привода карусельного станка.

угловая скорость двигателя. Питание *РСГ* осуществляется стабилизированным напряжением, получаемым от выпрямителя *Bn1*. При установке ползунка *РСГ* в положение, соответствующее максимальной угловой скорости двигателя ω_{max} , пуск привода до $\omega_{ном}$ происходит при номинальном токе. При напряжении на якоре, близком к $U_{я,ном}$, под действием сигнала на выходе *ДН* стабилизатор *Ст3* пробивается и при дальнейшем повышении напряжения $U_{я}$ выходное напряжение преобразователя *ТП2* снижается, происходит уменьшение тока возбуждения $I_{в}$, а угловая скорость двигателя ω устанавливается на заданном уровне.

Важным преимуществом зависимого способа управления является наличие одного общего задатчика угловой скорости двигателя при ее регулировании во всем диапазоне. Это имеет особое значение при изменениях задающего сигнала, управляющего угловой скоростью двигателя, в зависимости от каких-либо внешних параметров (например, от диаметра обрабатываемой детали) и в случае программного управления станком.

Тиристорный электропривод станка представляет собой замкнутую систему автоматической стабилизации скорости с отрицательной обратной связью по ω , реализуемой посредством тахогенератора *ТГ* и воздействующей на преобразователь *ТП1*. Для повышения жесткости механических характеристик двигателя в системе электропривода применен промежуточный тиристорный усилитель постоянного тока *УПТ*, на вход которого подается сигнал управления $U_y = U_s - U_{о.с.}$, а на выходной каскад — сигнал отрицательной обратной связи по току с отсечкой, обеспечивающей ограничение тока якоря двигателя в установившихся и переходных режимах до $I_{я,max} = (2 \div 2,5) I_{я,ном}$. Сигнал формируется блоком токовой отсечки (БТО), который включает в себя датчик тока *ДТ*, состоящий из трансформаторов *Тр4—Тр6*, выпрямителя *Bn2*, нагрузочного резистора *R1*, стабилизатора *Ст2* и усилителя на транзисторе *ПТ*. Первичные обмотки *Тр4—Тр6* подключены к обмоткам *ТОР*, падение напряжения на которых пропорционально току в них и соответственно току якоря двигателя (для трехфазной мостовой схемы выпрямления $I_{2\phi} = 0,817 I_d$). При токах двигателя $I_{я} > I_{отс}$ сигнал на выходе *ДТ* (резистор *R1*) превышает порог стабилизации *Ст2*, и сигнал обратной связи проходит на *УПТ* и *ТП1*, устанавливая такое зна-

чение напряжения на якоре двигателя $U_{я}$, которое обеспечивает ограничение тока $I_{я}$ на нужном уровне. Питание *УПТ* и транзистора *ПТ* в БТО осуществляется от блока питания *БП* (рис. 7-8, б), который используется также для питания цепей управления *ТП1* и *ТП2*.

Схема управления главным электроприводом карусельного станка выполнена на релейно-контактной аппаратуре (рис. 7-8, б и в), питание которой осуществляется от трехфазного выпрямителя *Bn3*, подсоединенного к сети через трансформатор *Тр3*. Пуск и нормальная работа двигателя возможны, если: 1) произошло полное зацепление шестерен в коробке скоростей (замкнуты контакты конечных выключателей *ВК1* и *ВК2*); 2) нормально работает система смазки отдельных элементов станка (замкнуты контакты манометра *ЭКМ* и реле давления масла *РД* (включено реле контроля смазки *РКС*); 3) зажата поперечина и отключен электропривод подъема поперечины (замкнуты контакты *ВК3* и *ВК4*); 4) имеется напряжение на электроприводах подачи и вспомогательных механизмов (сработал контактор *K1*); 5) сработала блокировка, запрещающая работу главного привода станка при исчезновении напряжения питания электромагнитных муфт правого суппорта (реле *P10—P12*, питаются вместе с муфтами от одного источника напряжения — рис. 7-8, в).

Перед пуском двигателя нажатием кнопки *Кн2* включается контактор *K1*, который подключает схему управления главного привода, схемы двигателей подачи и других механизмов. Затем нажатием кнопки *Кн4* включается контактор *K2*, который подключает тиристорные преобразователи *ТП1* и *ТП2* к напряжению сети (рис. 7-8, а). Для пуска двигателя *Д* необходимо нажать одну из кнопок *Кнб* (Планшайба влево) или *Кн7* (Планшайба вправо) в зависимости от выбранного направления вращения планшайбы. Например, при нажатии *Кнб* включается реле *P5*, которое своими контактами 34-35 и 26-38 включает реле *P1*, *P3* и контактом 42-58 подготавливает цепь реле *P8*. Реле *P1* подает сигнал управления в *ТП2*, обеспечивающий требуемую полярность возбуждения двигателя, при которой планшайба вращается влево. Реле *P3* своими контактами 20-21 и 22-23 подключает якорь тахогенератора *ТГ*, обеспечивая требуемую полярность напряжения обратной связи по скорости, соответствующую направлению вращения планшайбы вправо. После

установления номинального тока в ОВД и включения реле РНТ (контакт 61-62) включается реле Р8, которое контактами 1-2 и 7-8 подключает регулятор скорости РСГ к источнику задающего напряжения. Одновременно при включении реле Р1 и РНТ (контакты 132-79 и 79-80) включается реле Р12 (рис. 7-8, в), которое контактом 10-11 подает напряжение управления U_{γ} , равное разности напряжений задающего U_a и обратной связи по скорости $U_{o,c} = k_c \omega$, на вход УПТ по цепочкам: 1—2—3—4—23—22—21—20—16 и 8—7—10—11. Преобразователь ТП1 открывается, и начинается разгон двигателя до скорости, определяемой установкой РСГ, с ограничением тока якоря двигателя до $I_{отс} \approx 2I_{я,ном}$ за счет действия токовой отсечки.

В карусельных станках, особенно тяжелых, при большой массе заготовки для сокращения времени остановки планшайбы необходимо иметь интенсивное электрическое торможение привода. В однокомплектной схеме ТП1, питающего якорь, торможение двигателя можно получить, если с помощью реверсивного ТП2, питающего ОВД, изменить направление ЭДС якоря E_{γ} на обратное по отношению к зажимам ТП1. При этом одновременно следует изменить полярность напряжения U_d путем увеличения угла управления тиристорами $\alpha > 90^\circ$ преобразователя ТП1. В двигательном режиме E_{γ} действует встречно $U_{d,в}$, в режиме генераторного торможения $U_{d,г}$ действует встречно E_{γ} (см. направление стрелок в цепи якоря Д на рис. 7-8, а).

Остановка двигателя производится нажатием кнопки Кн5 (Планшайба стоп). При этом отключаются реле Р5 и Р8, отключая контактами 1-2 и 7-8 регулятор скорости РСГ от источника задающего напряжения. За счет ЭДС тахогенератора меняется полярность напряжения управления, включается поляризованное реле РП1 и контактом 132-78 включает реле Р11, которое контактами 10-20 и 7-16 восстанавливает прежнюю полярность сигнала управления на входе УПТ, контактом 26-34 отключает реле Р1, а контактом 26-36 включает Р2, что вызывает изменение полярности сигнала на входе ТП2 и, следовательно, тока в обмотке возбуждения двигателя ОВД. Происходит эффективное торможение двигателя, который переводится в генераторный режим, а преобразователь ТП1 работает инвертором, преобразуя постоянное напряжение, вырабатываемое двигателем Д, в пере-

менное напряжение. Поток мощности, изменив направление, проходит от якоря двигателя через преобразователь ТП1 и реакторы ТОР в сеть переменного напряжения.

В конце торможения, когда угловая скорость двигателя будет близка к нулю, отключаются реле РП1, Р11, Р2, РНТ и схема приходит в исходное состояние. Остановить двигатель также можно нажатием кнопок Кн1 (Сеть отключить), Кн3 (Преобразователь отключить) или одной из кнопок Аварийный стоп, расположенных на стационарном пульте управления Кн9, на подвесном пульте Кн10 и на пультах управления суппортами: левого Кн11, правого Кн12 и бокового Кн13. Кнопки Аварийный стоп отключают реле аварийного стопа РАС, которое контактом 42-70 отключает реле времени остановки РВО и контактом 27-28 контактор К1, отключающий реле Р5 и Р8. Происходит торможение двигателя, в конце которого реле РВО контактом 32-33 отключает контактор К2, который отключает от сети тиристорные преобразователи ТП1 и ТП2.

В схеме предусмотрено наладочное включение двигателя планшайбы, для чего переключатель ПУ ставится в положение Наладка и включается реле Р7, которое открывает контакт 52-53 и обеспечивает толчковое включение двигателя при нажатии кнопки Кн6 (Планшайба вправо) или Кн7 (Планшайба влево) в зависимости от требуемого направления вращения планшайбы, а контактом 4-23 отключает регулятор скорости РСГ. При этом задающее напряжение снимается с резистора R9 через контакт 3-23 реле РГ, и происходит пуск двигателя до угловой скорости 10 рад/с. При отпускании кнопки Кн6 (Кн7) двигатель останавливается.

В схеме имеется световая сигнализация (рис. 7-8, г), осуществляющая контроль наличия напряжения на тиристорных преобразователях (лампа ЛС1), наличия смазки коробки скоростей и основания планшайбы (ЛС2), полного зацепления шестерен в коробке скоростей (ЛС3). Предусмотрена также звуковая сигнализация (ЗС), включаемая при недостаточном поступлении масла в магистраль смазки во время работы главного привода.

7-7. КОПИРОВАНИЕ НА ТОКАРНЫХ СТАНКАХ

При обработке тел вращения сложной формы — конусных, ступенчатых или с криволинейными образующими — на токарных станках широко применяется принцип копирования. Его сущность заключается в том, что требуемый профиль изделия воспроизводится по специально подготовленному шаблону (копиру) или по ранее обработанной детали. В процессе копирования по контуру шаблона движется копировальный палец, имеющий ту же форму, что и резец. Перемещения копировального пальца автоматически через систему управления передаются суппорту с резцом таким образом, чтобы траектория движения резца повторяла траекторию движения копировального пальца. Обработка деталей на копировальных станках позволяет значительно повысить воспроизводимость (повторяемость) деталей по форме и размерам и производительность труда по сравнению с обработкой на универсальных станках с ручным управлением, так как отпадают затраты времени на повороты резцедержателя, подводы и отводы резца на измерения и т. п.

По принципу действия токарные копировальные станки разделяются на три основных вида: 1) с непосредственным механическим управлением; 2) с гидравлическим следящим управлением; 3) с электрическим следящим управлением.

Широкое применение на токарных станках получили копировальные системы с электрическим следящим управлением. На рис. 7-9 приведена упрощенная принципиальная схема такой системы (релейно-го действия) для токарного станка, в фартуке которого установлены электромагнитные фрикционные муфты $\mathcal{E}мП$, $\mathcal{E}мЛ$, $\mathcal{E}мВ$, $\mathcal{E}мН$, обеспечивающие соответственно подачи суппорта *Вправо*, *Влево*, *Вперед* и *Назад*. Управление муфтами производится контактным копировально-измерительным прибором $КИП$, устройство которого схематически показано на рис. 7-9, а, а электрическая схема — на рис. 7-9, б.

В положении, когда копировальный палец $КП$ не касается контура шаблона, замкнуты контакты $КИП1$ и $КИП3$ и контакт реле $РА$. Включено реле $РП1$, поэтому получает питание катушка муфты $\mathcal{E}мВ$, и осуществляет-

ся следящая подача s_c *Вперед* суппорта и жестко связанного с ним $КИП$. Включена и муфта $\mathcal{E}мЛ$, которая передает суппорту движение ведущей подачи s_v *Влево*. Когда палец $КП$ подойдет к контуру шаблона и нажмет на него, контакт $КИП1$ разомкнется, отключатся реле $РП1$ и муфта $\mathcal{E}мВ$, подача вперед прекратится. Но ведущая

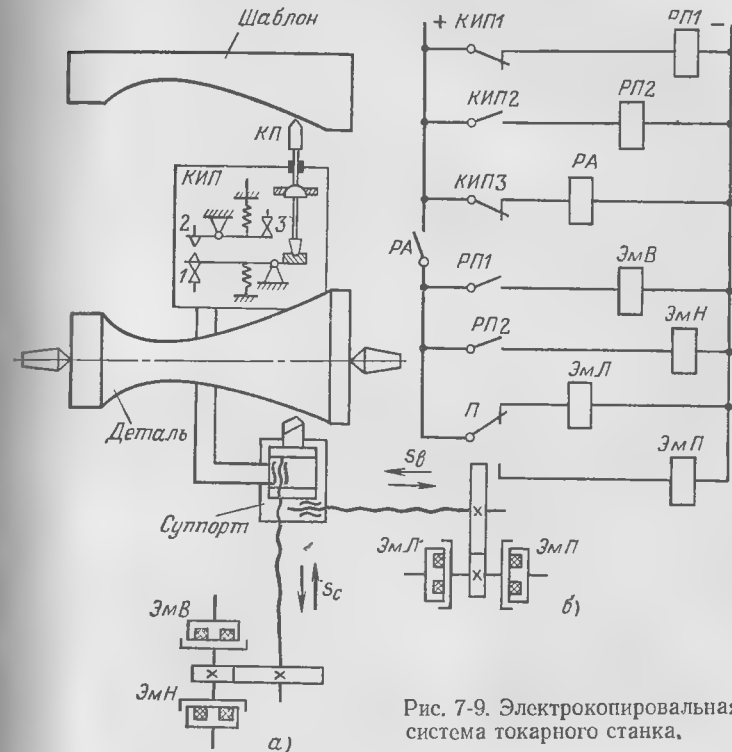


Рис. 7-9. Электрокопировальная система токарного станка.

подача продолжится, поэтому давление на палец уменьшится, вновь замкнется контакт $КИП1$, включится следящая подача *Вперед* и т. д. При изменении направления наклона контура давление на копировальный палец возрастет и замкнется контакт $КИП2$, что приведет к включению реле $РП2$, муфты $\mathcal{E}мН$ и следящей подачи *Назад*. Движение по этому участку контура осуществляется, таким образом, путем сочетания непрерывной ведущей подачи *Влево* и прерывистой следящей подачи *Назад*.

В случае чрезмерного нажатия на копировальный палец размыкается аварийный контакт *КИПЗ*, отключается реле *РА* и движение суппорта прекращается. Если переключатель *П* перевести в нижнее положение, то вместо ведущей подачи *Влево* будет происходить подача *Вправо*. Электрокопировальные системы рассмотренного типа применяются, например, в универсальных токарно-винторезных станках модели *1К620*, а также в некоторых карусельных станках.

В электрокопировальных системах усилия, возникающие при соприкосновении копировального пальца *КП* с шаблонами, невелики, благодаря чему шаблоны могут изготавливаться из мягких, легкообрабатываемых материалов (гипс, дерево, пластмасса, алюминий).

Обработка деталей по методу копирования производится, кроме токарных станков, на расточных, строгальных, шлифовальных станках и особенно распространена на фрезерных станках.

Глава восьмая

ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ СВЕРЛИЛЬНЫХ И РАСТОЧНЫХ СТАНКОВ

8-1. НАЗНАЧЕНИЕ И УСТРОЙСТВО СВЕРЛИЛЬНЫХ И РАСТОЧНЫХ СТАНКОВ

Сверлильные станки служат для получения сквозных и глухих отверстий в деталях с помощью сверл, для развертывания и чистовой обработки отверстий, предварительно полученных литьем или штамповкой, и для выполнения других операций. В сверлильных станках главное движение и движение подачи сообщаются инструменту. К станкам общего назначения относятся вертикально-сверлильные и радиально-сверлильные станки.

На рис. 8-1 показан общий вид радиально-сверлильного станка. Станок состоит из фундаментной плиты *1* с установленной на ней неподвижной колонной, на которую надета пустотелая гильза *2*. Гильза может поворачиваться вокруг колонны на 360° . На гильзу надет горизонтальный рукав (траверса) *4*, который можно поднимать и опускать вдоль колонны с помощью вертикального винта механизма перемещения *3*. Закрепление

гильзы с рукавом на колонне (зажим колонны) производится разрезным кольцом, которое стягивается посредством дифференциального винта, вращаемого вручную или отдельным электродвигателем. По горизонтальным направляющим рукава может перемещаться в

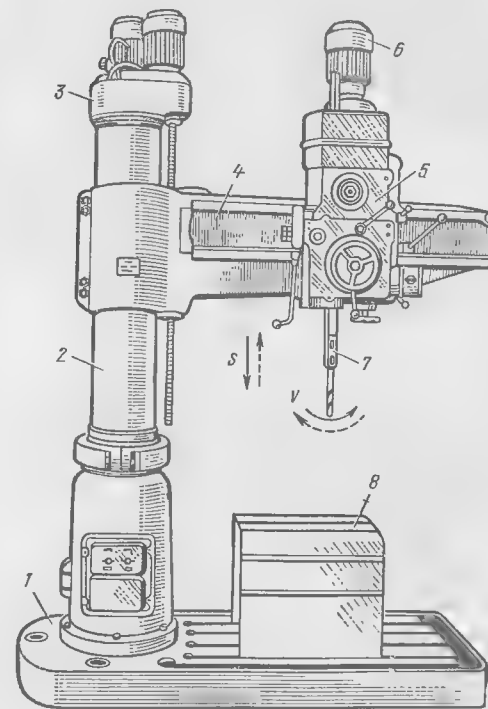


Рис. 8-1. Общий вид радиально-сверлильного станка.

радиальном направлении шпиндельная бабка (сверлильная головка) *5*. Обрабатываемая деталь устанавливается на столе *8*. От главного электродвигателя *6* сообщается вращение шпинделю *7* и производится подача инструмента (сверла).

В электромашиностроении на сверлильных станках производят сверление отверстий в торцах станин электрических машин, в подшипниковых щитах, лапах и др.

Расточные станки применяются главным образом для

обработки крупных деталей различными инструментами, при этом можно выполнять разнообразные работы: растачивание цилиндрических и конических поверхностей резцами на борштанге, сверление отверстий сверлами, цилиндрическое и торцевое фрезерование; нарезание наружной и внутренней резьбы; обтачивание цилиндрических поверхностей и торцов. Особенностью расточных станков является возможность с одной установки детали обрабатывать в ней различные отверстия со взаимно параллельными и перпендикулярными осями.

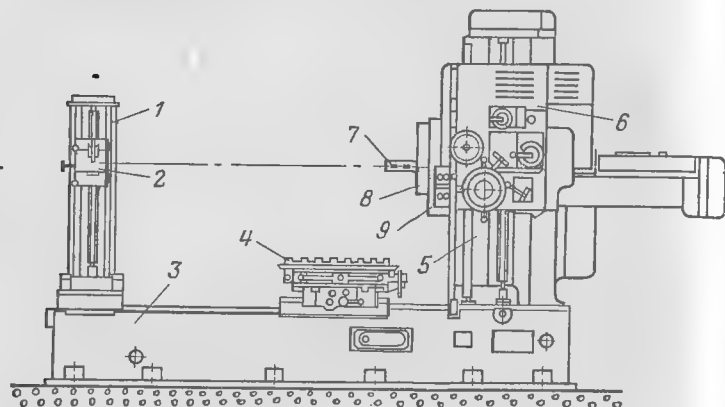


Рис. 8-2. Общий вид горизонтально-расточного станка.

На рис. 8-2 показан общий вид **горизонтально-расточного станка** общего назначения. Станок состоит из нескольких основных узлов. На его станине 3 справа закреплена передняя неподвижная стойка 5. По вертикальным направляющим стойки перемещается шпиндельная бабка 6 с коробкой скоростей и коробкой подач. С левой стороны станины установлена задняя стойка 1, которую можно перемещать по направляющим станины. На задней стойке имеется люнет 2 с опорным подшипником для поддержки борштанги и обеспечения ей необходимой жесткости в процессе резания. Между стойками на направляющих станины расположен поворотный стол 4, который может совершать движения подачи в продольном и поперечном направлениях.

Главным движением станка является вращение расточного шпинделя 7 или планшайбы 9, которое осуще-

ствляется от электродвигателя, установленного в верхней части шпиндельной бабки. Движение подачи сообщается инструменту (осевое перемещение шпинделя или вертикальное перемещение шпиндельной бабки по направляющей стойки), либо обрабатываемой заготовке, располагаемой на столе.

Обрабатываемая заготовка закрепляется на столе станка. Режущие инструменты устанавливаются в шпинделе или в радиальном суппорте 8 планшайбы. При расточке коротких отверстий подача сообщается шпинделю. При обработке длинных и соосных отверстий с использованием борштанги подача сообщается столу в продольном направлении.

В электромашиностроении на расточных станках производят обработку внутренней цилиндрической поверхности корпусов электрических машин.

Координатно-расточные станки применяются для обработки отверстий с высокой точностью (в пределах 0,005—0,01 мм) без предварительной разметки поверхности детали и без применения кондуктора. Установка координат центров отверстий по двум осям прямоугольной системы координат производится путем перемещения стола с изделием в одностоечных станках или шпиндельной бабки с инструментом в двухстоечных станках. Для измерения установочных перемещений подвижных узлов станка применяют зеркальные линейки или валики. На координатно-расточных станках можно производить сверление, разметку, а также всевозможные расточные работы и фрезерование торцевыми фрезами.

8-2. ОСОБЕННОСТИ И ТИПЫ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ СВЕРЛИЛЬНЫХ И РАСТОЧНЫХ СТАНКОВ

К электроприводам сверлильных станков предъявляются следующие требования: 1) если на станке производится нарезание резьбы, то привод шпинделя должен быть реверсивным; 2) схема управления должна ограничивать перемещение траверсы; 3) должна быть предусмотрена блокировка, не допускающая включения двигателя перемещения траверсы, когда она зажата; 4) не допускается работа станка с незажатой колонной.

Диапазон регулирования скорости главного движения составляет (2—10):1 для вертикально-сверлильных, (20—70):1 для радиально-сверлильных и (100—120):1

для расточных станков при приблизительно постоянной мощности во всем диапазоне.

Главный привод сверлильных станков осуществляется от асинхронных короткозамкнутых двигателей. Регулирование частоты вращения шпинделя производится переключением шестерен коробки скоростей. Для уменьшения числа промежуточных передач в отдельных случаях можно применять многоскоростные асинхронные двигатели. Для привода перемещения рукава (траверсы) и зажима колонны применяют отдельные асинхронные электродвигатели.

Требования к главному приводу расточных и координатно-расточных станков совпадают в основном с рассмотренными ранее для станков токарной группы, но следует учитывать особенности расточных станков: 1) при обработке деталей происходит выдвигание расточного шпинделя, изменяется жесткость системы станок — инструмент — деталь, что делает целесообразным изменение на ходу станка скорости резания и подачи; 2) для получения высокого качества обрабатываемой поверхности желательно иметь бесступенчатое изменение частоты вращения шпинделя; 3) необходим большой диапазон регулирования частоты вращения шпинделя, достигающий в современных станках до 250 : 1 и более.

В расточных станках общего назначения с диаметром расточного шпинделя до 150—175 мм применяется главный привод от одно- или многоскоростных асинхронных двигателей с многоступенчатой коробкой скоростей.

В тяжелых горизонтально-расточных станках применяется привод от двигателей постоянного тока с двух- или трехступенчатой коробкой скоростей. Для получения постоянного тока обычно используют полупроводниковые преобразователи. Угловая скорость двигателя регулируется при малых частотах вращения шпинделя (от 5 до 60 об/мин) изменением напряжения на якоре, дальнейшее повышение угловой скорости производится ослаблением потока возбуждения в диапазоне (3—6) : 1.

В координатно-расточных станках даже при небольшой мощности главного привода находят все большее применение приводы от двигателя постоянного тока с бесступенчатым регулированием скорости. В этом случае для питания двигателя используются системы ПМУ—Д, ЭМУ—Д, ТП—Д.

Привод подачи сверлильных станков обычно выполняется от главного двигателя, для чего коробка подач располагается на шпиндельной бабке. Общий диапазон регулирования скорости подачи для вертикально-сверлильных станков (2—24) : 1, для радиально-сверлильных (3—40) : 1.

К приводам подач расточных станков предъявляются более жесткие требования: 1) обеспечить диапазон регулирования скорости до (1500—2000) : 1, так как необходимо обеспечить рабочие подачи и быстрые установочные перемещения; 2) отклонение скорости подачи не должно превышать 10% начального значения при изменении момента от нуля до $M_{с,ном}$; привод должен обладать высоким быстродействием и обеспечивать точную остановку.

Для выполнения указанных требований и с целью упрощения кинематической цепи в универсальных и тяжелых расточных станках применяется привод подачи от двигателя постоянного тока по системе Г—Д (в более легких станках применяется система ПМУ—Д или ЭМУ—Д) или ТП—Д (для новых станков).

8-3. РАСЧЕТ МОЩНОСТИ ДВИГАТЕЛЕЙ СВЕРЛИЛЬНЫХ И РАСТОЧНЫХ СТАНКОВ

При сверлении нормативная скорость резания, м/мин, может быть определена по формуле

$$v = \frac{C_v d^{z_v}}{T^m s^{y_v}}, \quad (8-1)$$

где C_v — коэффициент, зависящий от материала изделия и сверла; d — диаметр сверла, мм; T — стойкость сверла, мин; s — подача, мм/об; m , z_v , y_v — показатели степени, зависящие от материала изделия и диаметра сверла.

По найденному значению скорости резания рассчитывается частота вращения шпинделя, об/мин:

$$n_{шп} = 10^3 v / (\pi d). \quad (8-2)$$

Вращающий момент на шпинделе при сверлении, Н·м, определяется по формуле

$$M = 9,81 C_m d^{1,9} s^{y_m} \cdot 10^{-3}. \quad (8-3)$$

Коэффициенты и показатели степени в (8-1) и (8-3) находят в справочнике по режимам резания, там же даются пояснения к формуле (8-3).

Зная момент и частоту вращения шпинделя, можно найти мощность резания при сверлении, кВт:

$$P_z = Mn_{\text{шп}}/9550. \quad (8-4)$$

При расточке резцами скорость резания определяется по формуле (7-1), мощность резания — по (7-4).

Рассчитав мощность резания для каждой операции, машинное и вспомогательное время, можно построить нагрузочную диаграмму станка и, используя ее, определить мощность двигателя (см. гл. 7).

Мощность двигателя подачи, кВт, угловая скорость которого регулируется изменением только напряжения на якоре, в случае естественного охлаждения или принудительной вентиляции двигателя определяется по формуле

$$P_{\text{дв.п}} = \frac{F_{\text{п.мах}} v_{\text{б.п}}}{60\eta_{\text{п}}} 10^{-3}, \quad (8-5)$$

где $F_{\text{п.мах}}$ — наибольшее усилие подачи, действующее на рабочей части диапазона, Н; $v_{\text{б.п}}$ — наибольшая скорость быстрого перемещения, м/мин; $\eta_{\text{п}}$ — КПД передачи.

Если учесть, что при быстрых перемещениях требуется усилие подачи в 6—8 раз меньше по сравнению с наибольшим рабочим усилием, то регулирование скорости электропривода в этом случае можно производить ослаблением потока двигателя. Это дает возможность уменьшить номинальную мощность двигателя подачи в $n_{\text{мах}}/n_{\text{ном}}$ раз и легче осуществить автоматическое регулирование частоты вращения.

8-4. ЭЛЕКТРОПРИВОД И СХЕМА УПРАВЛЕНИЯ РАДИАЛЬНО-СВЕРЛИЛЬНОГО СТАНКА

В качестве примера рассмотрим электропривод и схему управления (рис. 8-3) радиально-сверлильного станка модели 2А55, предназначенного для обработки отверстий диаметром до 50 мм сверлами из быстрорежущей стали. Станок имеет пять асинхронных короткозамкнутых двигателей: вращения шпинделя $D1$ (4,5 кВт), перемещения траверсы $D2$ (1,7 кВт), гидрозжима ко-

лонны $D3$ и шпиндельной головки $D4$ (по 0,5 кВт) и электронасоса $D5$ (0,125 кВт).

Частота вращения шпинделя регулируется механическим путем с помощью коробки скоростей в диапазоне от 30 до 1500 об/мин (12 скоростей). Привод подачи выполнен от главного двигателя $D1$ через коробку подач. Скорость подачи регулируется от 0,05 до 2,2 мм/об, наибольшее усилие подачи $F_{\text{п.мах}} = 20\,000$ Н. Траверса может поворачиваться вокруг оси колонны на 360° и вертикально перемещается по колонне на 680 мм со скоростью 1,4 м/мин. Зажим траверсы на колонне производится автоматически. Все органы управления станком сосредоточены на сверлильной головке, что обеспечивает значительное сокращение вспомогательного времени при работе на станке.

Все электрооборудование, за исключением электронасоса, установлено на поворотной части станка, поэтому напряжение сети 380 В подается через вводной выключатель $ВВ$ на кольцевой токосъемник $КТ$ и далее через щеточный контакт в распределительный шкаф, установленный на траверсе.

Перед началом работы следует произвести зажим колонны и шпиндельной головки, что осуществляется нажатием кнопки *Зажим*. Получает питание контактор $K3$ и главными контактами включает двигатели $D3$ и $D4$, которые приводят в действие гидравлические зажимные устройства. Одновременно через вспомогательный контакт контактора $K3$ включается реле $РН$, подготавливающее питание цепей управления через свой контакт после прекращения воздействия на кнопку *Зажим* и отключения контактора $K3$. Для отжима колонны и шпиндельной головки при необходимости их перемещения нажимается кнопка *Отжим*, при этом теряет питание реле $РН$, что делает невозможным работу на станке при отжатых колонне и шпиндельной головке.

Управление двигателями шпинделя $D1$ и перемещения траверсы $D2$ производится при помощи крестового переключателя $KП$, рукоятка которого может перемещаться в четыре положения: *Влево*, *Вправо*, *Вверх* и *Вниз*, замыкая при этом соответственно контакты $KП1$ — $KП4$. Так, в положении рукоятки *Влево* включается контактор $KШВ$, и шпиндель вращается против часовой стрелки. Если рукоятку переместить в положение *Вправо*, то отключается контактор $KШВ$, включается

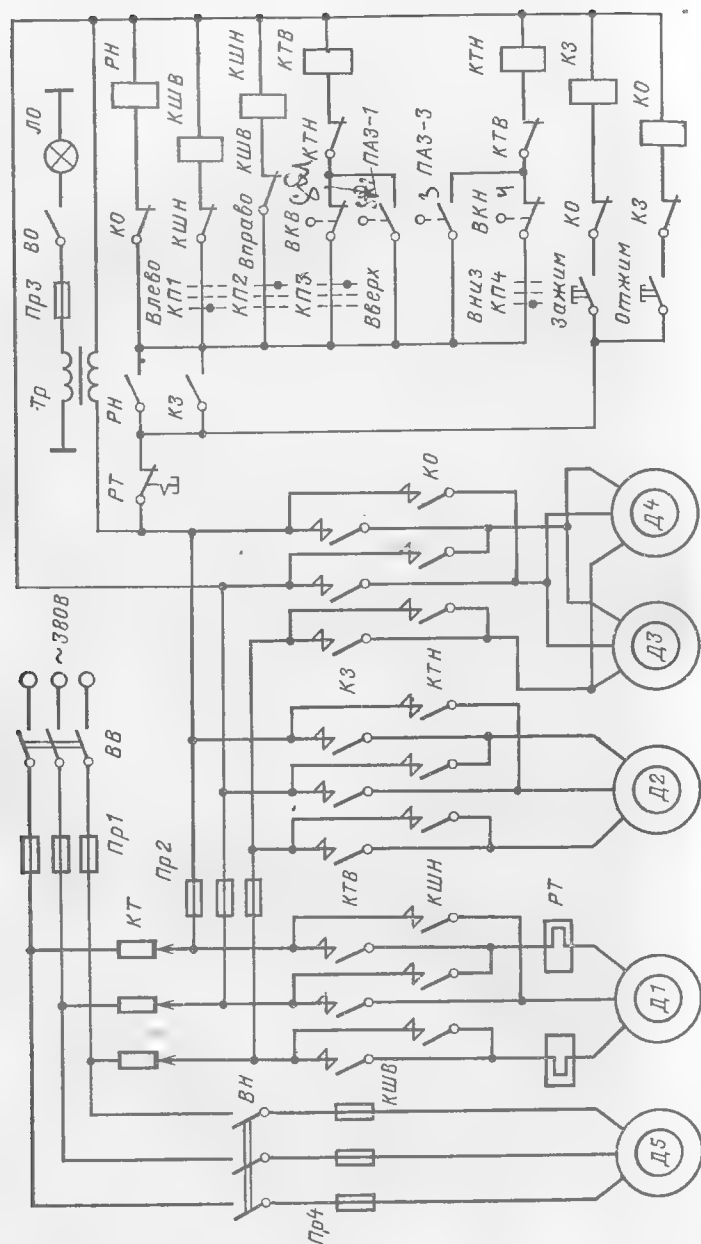


Рис. 8-3. Схема управления электроприводами станка модели 2А55.

контактор *КШН*, и шпиндель станка будет вращаться по часовой стрелке.

При установке рукоятки крестового переключателя *КП*, например, в положение *Вверх* включается контактором *КТВ* двигатель *Д2*. При этом ходовой винт механизма перемещения вращается вначале вхолостую, передвигая сидящую на нем гайку, что вызывает отжим траверсы (при этом замыкается контакт *ПА3-2* переключателя автоматического зажима), после чего происходит подъем траверсы. По достижении траверсой необходимого уровня переводят рукоятку *КП* в среднее положение, поэтому отключается контактор *КТВ*, включается контактор *КТН* и двигатель *Д2* реверсируется. Реверс его необходим для осуществления автоматического зажима траверсы благодаря вращению ходового винта в обратную сторону и передвиганию гайки до положения зажима, после чего двигатель разомкнувшись контактом *ПА3-2* отключается. Если теперь установить рукоятку переключателя *КП* в положение *Вниз*, то сначала произойдет отжим траверсы, а затем ее опускание и т. д. Перемещение траверсы в крайних положениях ограничивается конечными выключателями *ВКВ* и *ВКН*, разрывающими цепи питания контакторов *КТВ* или *КТН*.

Защита от к.з. в силовых цепях, цепях управления и освещения производится плавкими предохранителями *Пр1—Пр4*. Двигатель шпинделя защищен от перегрузки тепловым реле *РТ*. Реле *РН* осуществляет нулевую защиту, предотвращая самозапуск двигателей *Д1* и *Д2*, включенных переключателем *КП*, при снятии и последующем восстановлении напряжения питания. Восстановление цепи управления возможно только при повторном нажатии кнопки *Зажим*.

8-5. ЭЛЕКТРОПРИВОД И СХЕМА УПРАВЛЕНИЯ УНИВЕРСАЛЬНОГО РАСТОЧНОГО СТАНКА

Универсальные горизонтально-расточные станки средних размеров, например моделей 2620, 265 и других, при различных мощностях электродвигателей шпинделя имеют сходные системы управления как главными приводами, так и приводами подачи.

Рассмотрим особенности электрооборудования и работу схемы управления расточного станка модели 2620.

Главное движение — вращение расточного шпинделя осуществляется от двухскоростного асинхронного двигателя мощностью 10 кВт при 1460/980 об/мин. Частоту

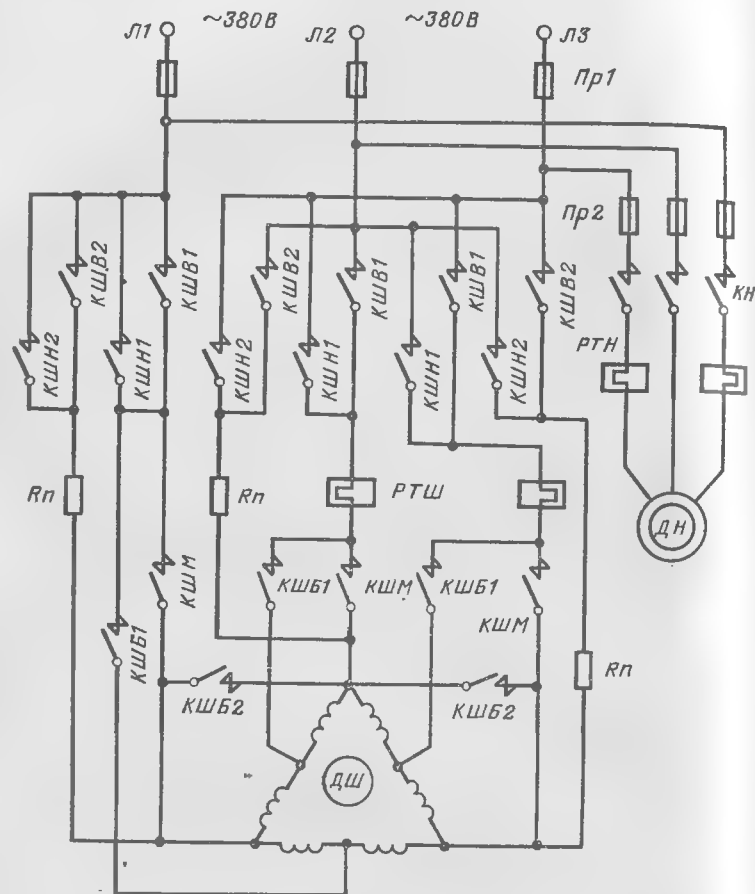
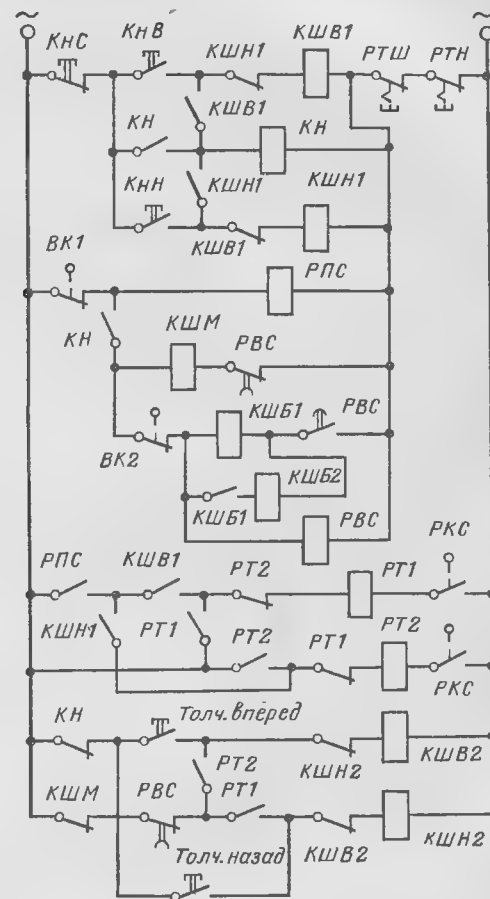


Рис. 8-4. Электрическая схема главного привода расточного станка

вращения шпинделя можно изменять в пределах 12,5—1600 об/мин с помощью коробки скоростей и переключения числа пар полюсов двигателя.

Система управления главным приводом станка обеспечивает: возможность вращения шпинделя в обоих направлениях; рабочий и наладочный режимы; одновре-

менное включение привода шпинделя и насоса смазки; возможность переключения скоростей в шпиндельной коробке только при отключенном двигателе; принуди-



модели 2620.

тельное электрическое торможение шпинделя для быстрой остановки.

На рис. 8-4 показана несколько упрощенная электрическая схема главного привода. Включение реверсивных контакторов *КШВ1* и *КШН1* определяет направление вращения двигателя шпинделя *ДШ*. Его частота

вращения задается положением выключателя $BK2$, который связан с устройством переключения скоростей в шпиндельной коробке. При разомкнутом контакте $BK2$ включен контактор $KШМ$, обмотка статора соединена в треугольник и двигатель вращается с малой угловой скоростью. Если контакт $BK2$ замкнут, то включены контакторы $KШБ1$ и $KШБ2$, обмотка статора соединена в двойную звезду и двигатель вращается с большой скоростью.

Переключение скоростей в шпиндельной коробке может производиться только при неподвижном положении шпинделя. Поэтому в начале операции переключения размыкается контакт выключателя $BK1$, связанного с механизмом переключения, двигатель тормозится и останавливается. После завершения установки новой скорости нажатие на выключатель $BK1$ прекращается, и двигатель вновь пускается.

Рассмотрим работу схемы при условии, что шпиндель станка должен вращаться с большой частотой, т.е. при замкнутом контакте выключателя $BK2$. Нажатием кнопки $KнВ$ включаются контактор $KШВ1$, контактор $КН$ двигателя насоса смазки $ДН$, затем реле $РПС$, реле времени $РВС$ и контактор $KШМ$. Поэтому двигатель $ДШ$ пускается на меньшую угловую скорость. Через некоторое время реле $РВС$ отключает контактор $KШМ$ и включает контакторы $KШБ1$ и $KШБ2$, двигатель теперь будет разгоняться до своей высшей угловой скорости. Во время пуска двигателя реле контроля скорости $РКС$ замыкает свой контакт и включает реле торможения $РТ1$, которое своим контактом подготавливает цепь катушки контактора $KШН2$ к последующему процессу торможения.

При нажатии кнопки $KнС$ отключаются контакторы $KШВ1$, $КН$, $KШБ1$, $KШБ2$, реле $РВС$ и подается питание на катушку контактора $KШН2$. Этот контактор включается, подавая на статор двигателя напряжение обратной последовательности. Происходит процесс торможения противовключением при введении в цепь статора резисторов R_n , ограничивающих тормозной ток двигателя. Контроль за процессом торможения осуществляет реле $РКС$, контакт которого в цепи катушки реле $РТ1$ размыкается при угловой скорости, близкой к нулю. Реле $РТ1$ теряет питание и отключает контактор $KШН2$.

Проворот шпинделя при наладочных операциях совершается после нажатия кнопки *Толч. вперед* или *Толч. назад*, что вызывает включение контактора $KШВ2$ или $KШН2$. В цепь статора вводятся резисторы R_n , ограничивающие пусковой момент и обеспечивающие плавный пуск привода. При наладочных режимах двигатель насоса смазки $ДН$ не включается.

8-6. ЭЛЕКТРОПРИВОД ПОДАЧИ РАСТОЧНОГО СТАНКА ПО СИСТЕМЕ ТП—Д

Как отмечалось выше, привод подачи универсальных расточных станков выполняется от двигателя постоянного тока. Рассмотрим вариант такого привода по системе ТП—Д, разработанный ЭНИМС в виде комплектного устройства серии ЭТЗР с двигателем типа ПБСТ при диапазоне регулирования скорости до $2000:1$. Электропривод, структурная схема которого изображена на рис. 8-5, а, представляет собой систему автоматического регулирования с отрицательной обратной связью по скорости и ограничением тока в силовой цепи. Якорь двигателя $Д$ получает питание от реверсивного тиристорного преобразователя $ТП$ (рис. 8-5, б), состоящего из двух групп вентилей $T1, T3, T5$ и $T2, T4, T6$, включенных по трехфазной нулевой встречно-параллельной схеме с общим силовым трансформатором $Tr2$. В схеме применяется совместное управление группами тириستоров при нелинейном согласовании регулировочных характеристик $\alpha_1 = f(U_{c,y})$ и $\alpha_2 = f(U_{c,y})$ системы управления ($\alpha_{нач} = 100 \div 105^\circ$). Для ограничения уравнивающего тока, который может протекать при $U_{d,в} > U_{d,н}$, служат уравнивающие дроссели $Др1$ и $Др2$.

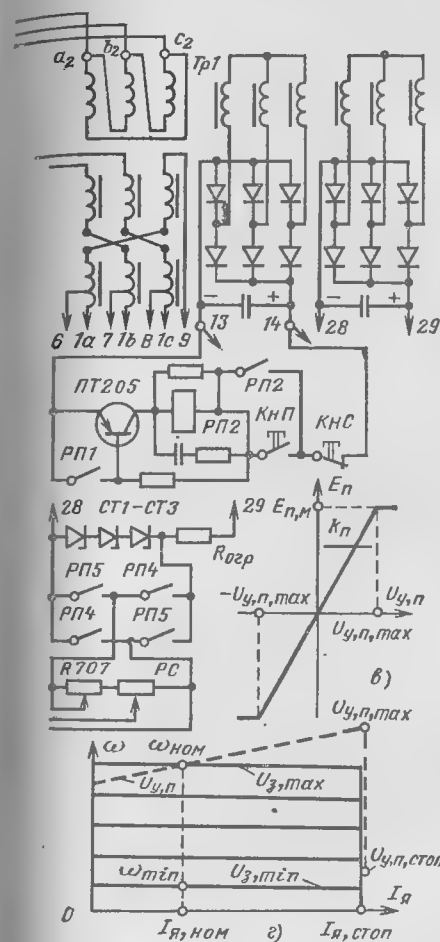
Блок управления $БУ$ состоит из трех однотипных каналов, на входе каждого из которых суммируются три напряжения: синхронизированное сетью с требуемой фазировкой относительно анодного напряжения тиристор переменное напряжение U_n , поступающее из блока $БУН$; напряжение управления преобразователем $U_{y,п}$ — от блока $ПУ$ и напряжение смещения $U_{см}$. Каждый канал заканчивается двумя импульсными трансформаторами, вторичные обмотки которых подключены к управляющим электродам тиристоров, например $T1$ и $T4$, одной фазы разных групп. Таким образом $БУ$ вырабатывает, распределяет по тиристорам и смещает управ-

The diagram illustrates the electrical system of a 150 kW diesel engine. It includes the engine (Д), generator (Г), and various electrical components such as transformers (Тр1, Тр2), rectifiers (Др1, Др2, Др3), and control units (БУ, КУ, ПУ). The system is connected to a 150V AC supply. Key components and connections include:

- Engine (Д):** The main power source, connected to the generator (Г) via a shaft.
- Generator (Г):** Produces AC power, which is then rectified by Др1 and Др2.
- Rectifiers (Др1, Др2, Др3):** Convert AC to DC. Др1 and Др2 are connected to the generator, while Др3 is connected to the 150V supply.
- Transformers (Тр1, Тр2):** Step up or step down the voltage. Тр1 is connected to the generator, and Тр2 is connected to the 150V supply.
- Control Units (БУ, КУ, ПУ):** Manage the engine and generator operation. БУ (Engine Control Unit) is connected to the engine, КУ (Generator Control Unit) to the generator, and ПУ (Power Unit) to the rectifiers.
- Other Components:** Resistors (R301, R302, R304, R310, R311, R305, R323, R321, R319, R317), capacitors (C404, C410, C2, C3), and diodes (Др1, Др2, Др3) are used for timing, filtering, and protection.
- Wiring:** The system is connected to a 150V AC supply via a 150V line. The engine and generator are connected to the system via a 150V line.

* Первая цифра в обозначении элементов указывает номер блока, две последующие — номер элемента.

Блок промежуточного усилителя ПУ состоит: из реверсивного транзисторного усилителя напряжения ОУ,



выполненного на базе интегрального усилителя типа К1УТ401Б; усилителя мощности на транзисторе ПТЗ01; узлов коррекции КУ и токоограничения ТО; звеньев

преобразования напряжения тахогенератора $K1$ и $K2$. На вход $ОУ$ (точки 148—153) поступает управляющее напряжение U_y , равное разности задающего напряжения U_z , снимаемого с регулятора скорости $РС$, и напряжения обратной связи $U_{о.с.}$, получаемого с тахогенератора $ТГ$ через делитель на резисторах $R319, R323$. Напряжение U_y усиливается до напряжения управления преобразователем $U_{y,п} = k_{пу} U_y$, которое подается на вход блока $БУ$ (точки 141—153).

Блок управляющих напряжений $БУН$ вырабатывает три периодических напряжения $U_{п}$ сложной формы, сдвинутых между собой на угол 120° . Каждое из этих напряжений состоит из суммы синусоидального и импульсного напряжений, что обеспечивает достаточно широкий диапазон изменения фазы управляющих импульсов $U_{пм}$, подаваемых на тиристоры, и устойчивую работу блока $БУ$ в переходных режимах. Блок состоит из трех идентичных схем, получающих питание от вторичных обмоток трансформатора $Tr1$, соединенных в зигзаг.

При совместном управлении группами тириستоров реверсивной системы $ТП$ должно соблюдаться условие $\alpha_1 + \alpha_2 \leq 180^\circ$, а для уменьшения габаритов уравнилельных дросселей необходимо, чтобы на всем диапазоне изменения напряжения U_d выполнялось соотношение $U_{d,п} > U_{d,в}$. Это условие будет соблюдаться, если установить начальный угол включения тиристоров $\alpha_0 = 100^\circ \div 105^\circ$. Такой сдвиг управляющих импульсов относительно точки естественного открывания вентилей обеспечивается за счет соединения первичных обмоток трансформаторов $Tr1$ в треугольник, а вторичных (питающих $БУН$) — в зигзаг. Корректировку угла α_0 можно производить за счет отпаяк $1a, 1b$ и $1c$, а также изменением напряжения $U_{см}$ в блоке $БУ$.

Узел токоограничения $ТО$. Для ограничения тока двигателя в системе $ТП—Д$ наряду с токовой отсечкой, которая не может ограничить ток $I_{я}$ за первый интервал проводимости тиристоров, часто применяется упреждающее токоограничение. Сущность его заключается в том, что ток $I_{я}$ непосредственно не измеряется, а оценивается по косвенным показателям: по соотношению ЭДС двигателя $E_{я}$ и ЭДС преобразователя $E_{п}$. Для того чтобы ток якоря $I_{я}$ при изменении угловой скорости двигателя ω поддерживать постоянным, например в процес-

се пуска, нужно соответственно увеличению ω изменять ЭДС преобразователя $E_{п}$.

Если ток якоря должен оставаться равным стопорному (при $\omega=0$) $I_{я,стоп}$, то $E_{п,мах}(\omega) = E_{я}(\omega) + I_{я,стоп}R_{я\Sigma}$. Каждому заданному значению задающего напряжения U_z , которое пропорционально заданному значению угловой скорости двигателя ω_z , соответствует свое максимальное значение $E_{п,мах}$ при $I_{я} = I_{я,стоп}$, так как при $I_{я} < I_{я,стоп}$ и том же значении U_z $E_{п} < E_{п,мах}(\omega)$. Для системы, замкнутой по скорости, можно принять $\omega = \omega_z$. Следовательно, можно считать, что каждому значению угловой скорости соответствует свое максимальное значение $E_{п,мах}$ при $I_{я} = I_{я,стоп}$. В частности, при $\omega=0$ $E_{я}=0$ и $E_{п,мах}(0) = E_{п,стоп} = I_{я,стоп}R_{я\Sigma}$. Таким образом, для того, чтобы ограничить и поддерживать в переходных процессах ток якоря на уровне $I_{я,стоп}$, нужно ограничивать ЭДС преобразователя на уровне $E_{п,мах}(\omega)$, зависящем от текущего значения угловой скорости двигателя, например, посредством так называемой отсечки по скорости с уставкой, регулируемой в функции угловой скорости двигателя. Ограничение ЭДС преобразователя можно осуществить, ограничивая напряжение $U_{y,п}$ на выходе $ПУ$. Учитывая, что $E_{я} = C\omega$ и $E_{п} = k_{п}U_{y,п}$, где $k_{п}$ — коэффициент усиления $ТП$, получим выражение для максимального сигнала управления (для уставки отсечки по скорости $U_{отс.с.}$) в зависимости от угловой скорости двигателя

$$U_{y,п,мах}(\omega) = C\omega/k_{п} + U_{y,п,стоп} = U_{отс.с.}(\omega), \quad (8-6)$$

где

$$U_{y,п,стоп} = E_{п,стоп}/k_{п} = I_{я,стоп}R_{я\Sigma}/k_{п}. \quad (8-7)$$

С целью ограничения напряжения $U_{y,п}$ на уровне $U_{y,п,мах}(\omega)$ и, следовательно, с целью реализации условия $I_{я}(\omega) = I_{я,стоп}$ напряжение $U_{оу} \approx U_{y,п}$ на выходе усилителя $ОУ$ (резистор $R311$) через нелинейную цепочку на диодах $D304—D307$ сравнивается с напряжением $U_{т,м} = k_{т,м}\omega$, которое снимается с тахометрического моста, состоящего из тахогенератора $ТГ$ и делителя напряжения $R321—R322$. Каждому значению угловой скорости двигателя соответствуют определенные значения $U_{y,п}$ и $U_{т,м}$. С помощью потенциометра $R321$ выставляется равенство этих напряжений при работе двигателя на холостом ходу. С увеличением нагрузки двигателя

под действием обратной связи напряжение $U_{y,п}$ возрастает (см. рис. 8-5, з), а $U_{т,м}$ — практически остается неизменным (при данном значении U_3). Когда разность этих напряжений достигнет уровня напряжения открывания диодов Д304—Д307, то дальнейший рост напряжения $U_{y,п}$ станет невозможным, так как сопротивление резистора R322, на которое нагружается усилитель ОУ через диоды Д304—Д307, намного меньше высокоомной нагрузки усилителя ОУ в виде $R_{вх}$ блока БУ. Поэтому с дальнейшим ростом нагрузки начнет падать угловая скорость двигателя, уменьшаться $U_{т,м}$, что приведет к уменьшению $U_{y,п}$, $E_п$ и угловой скорости двигателя ω , но при этом ЭДС преобразователя будет равной $E_{п,мах}(\omega)$, а напряжение управления $U_{y,п}$ — равным $U_{y,п,мах}(\omega)$, и ток $I_я$ при любом значении ЭДС $E_я$ останется постоянным и равным

$$I_я = [E_{п,мах}(\omega) - E_я] / R_{я\Sigma} = I_{я,стоп}. \quad (8-8)$$

При линейной зависимости $E_п = f(U_{y,п})$ (рис. 8-5, в) характеристики двигателя $\omega = f(I_я)$ в зоне токоограничения при различных значениях U_3 будут иметь вид прямой вертикальной линии (рис. 8-5, з). Коэффициент передачи звена К1 должен быть равен $k_{т,м} = 1/(k_{пкдв})$. Требуемое суммарное напряжение открывания $\Sigma \Delta U_{а,ном}$ опорных диодов ($\Delta U_{а,ном}$ — номинальное прямое падение напряжения на диоде), соединяемых последовательно — параллельно, или пробоя стабилитронов $U_{ст,ном}$, включаемых в эту цепочку последовательно, определяется заданным током $I_{я,стоп}$ по следующему выражению:

$$U_{ст,н} = I_{я,стоп} R_{я\Sigma} / k_{п} = U_{y,п,стоп}. \quad (8-9)$$

Диоды Д302, Д303, включенные на вход усилителя ОУ, ограничивают напряжение $U_y = U_3 - U_{о,с}$ до значения $U_{y,мах} = \Delta U_{а,ном}$, защищая интегральный усилитель от перегрузок в переходных режимах, и отключают отрицательную связь по скорости (размыкают систему автоматического регулирования — САР) при работе узла токоограничения.

Конструктивно блоки БУ, ПУ, БУН и другие выполнены на печатных платах с разъемами, что позволяет быстро делать замену вышедшего из строя электронного

узла. Источники питания блоков управления, усилителя ОУ и др. размещены в отдельном блоке БП, который состоит из четырех трехфазных выпрямителей на кремниевых диодах и стабилизатора напряжения на стабилитронах СТ1—СТ3, от которого питается регулятор скорости РС через реверсивный контактный мостик РП4—РП5 (рис. 8-5, б).

Выходные каскады блока БУ (транзисторы ПТ107, ПТ108 и др.) подключаются к источнику питания контактом реле РП2, которое включается нажатием кнопки КнП через транзистор ПТ205. Защита электропривода от к.з. осуществляется автоматическими выключателями ВА1 и ВА2, а максимальная токовая защита с помощью реле РП1 и РП2. Если ток якоря $I_я$ превысит $I_{я,стоп}$ (например, при заклинивании механизма подачи станка), то максимальное токовое реле РП1 сработает и замкнет цепь базы транзистора ПТ205 с эмиттером, триод закроется, реле РП2 потеряет питание и через небольшую выдержку времени разомкнет свои контакты в цепях питания выходных каскадов БУ, снимая управляющие импульсы с тиристоров Т1—Т6.

Коррекция системы автоматического регулирования (САР) привода осуществляется изменением параметров гибкой обратной связи, охватывающей усилитель ОУ (конденсаторы C_k), и подбором резисторов R305 и R317. Для пуска двигателя Д включается реле РП4 или РП5 (катушки этих реле на схеме не показаны) и подает на вход схемы задающее напряжение U_3 , значение и знак которого определяют фазы управляющих импульсов относительно анодного напряжения на тиристорах, а следовательно, угол включения тиристоров ТП или значение напряжения на якоре двигателя, его угловую скорость и направление вращения. С помощью потенциометра R707 выставляется минимальная угловая скорость ω_{min} двигателя.

Схема управления приводом подачи расточного станка должна предусматривать: а) работу привода подачи только при вращении шпинделя; б) установочные перемещения механизмов подачи независимо от работы главного привода; в) автоматическое ограничение хода шпинделя, шпиндельной бабки или стола; г) защиту силовых элементов и цепей управления от токов короткого замыкания.

ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ ПРОДОЛЬНО-СТРОГАЛЬНЫХ СТАНКОВ

9-1. НАЗНАЧЕНИЕ И УСТРОЙСТВО ПРОДОЛЬНО-СТРОГАЛЬНЫХ СТАНКОВ

Данные станки предназначены в основном для обработки резцами плоских горизонтальных и вертикальных поверхностей у крупных деталей большой длины. На этих станках можно также производить прорезание прямолинейных канавок различного профиля, Т-образных пазов и т. д. Детали средних размеров устанавливаются рядами на столе станка и обрабатываются одновременно.

Продольно-строгальные станки разделяются на одностоечные (с консольной поперечиной) и двустоечные (портального типа). На рис. 9-1 показан общий вид двухстоечного продольно-строгального станка. Его станина 1 имеет продольные направляющие (плоские и V-образные). По ним возвратно-поступательно движется стол 2, на котором закрепляют обрабатываемую деталь. Перемещение стола — главное движение — осуществляется от электродвигателя 9 через редуктор и реечную передачу, которая состоит из рейки (прямоугольной, косозубой или червячной), привернутой снизу к столу по всей его длине, и реечного колеса или расположенного под углом червяка. Снятие стружки с обрабатываемой детали (строгание) происходит при ходе стола *Вперед* (прямой или рабочий ход). Ход стола назад (обратный ход) совершается обычно с повышенной скоростью, и снятие стружки не производится (холостой ход), а резцы в это время автоматически отводятся от обработанной поверхности (поднимаются). Изменение направления движения стола производится или при помощи электромагнитной реверсивной муфты (на малых станках), или посредством реверсирования главного двигателя. Портал станка 6 образован двумя вертикальными стойками и верхней балкой. К этой балке прикреплен подвеска 5 пульта управления 11. По вертикальным направляющим стоек при помощи ходовых винтов перемещаются поперечина (траверса) 3 и боковой суппорт 10 (некоторые станки имеют два боковых суппорта).

Поперечина имеет горизонтальные направляющие, по которым могут перемещаться вертикальные суппорты 4. Суппорты станка с закрепленными в них резцами осуществляют прерывистую периодическую подачу за время реверса стола с обратного хода на прямой и быстрые установочные перемещения. Движение суппортам пере-

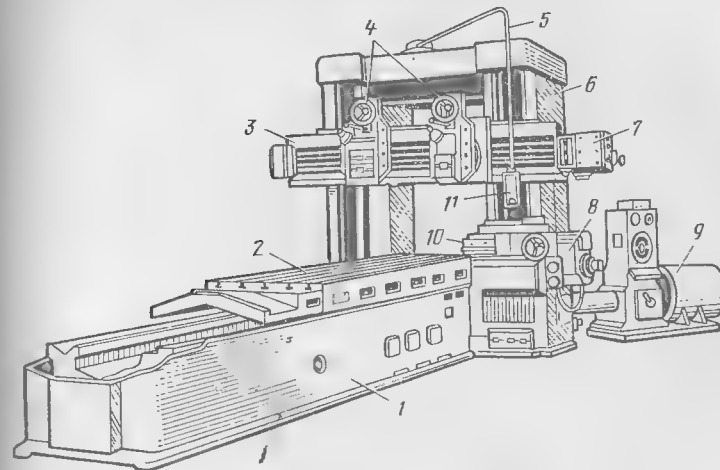


Рис. 9-1. Общий вид тяжелого продольно-строгального станка.

дается через коробки подач 7 и 8 от отдельных электродвигателей.

Основными величинами, характеризующими размеры и технологические возможности различных продольно-строгальных станков, являются наибольшая длина строгания (ход стола) L (от 1,5 до 12 м), наибольшая ширина обработки (от 0,7 до 4 м) и наибольшее тяговое усилие на рейке стола F_T (до 30—70 кН и более).

9-2. ОСОБЕННОСТИ РАБОТЫ И ТИПЫ ГЛАВНЫХ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ ПРОДОЛЬНО-СТРОГАЛЬНЫХ СТАНКОВ

Процесс обработки изделий на таких станках состоит из последовательно повторяющихся циклов, каждый из них включает рабочий или прямой ход стола, во время которого происходит обработка, и обратный ход, когда стол возвращается в исходное положение и осуществ-

ляется подача резцов (во время реверса стола с обратного хода на прямой).

Нормативная скорость прямого хода (скорость резания) определяется твердостью обрабатываемого материала, свойствами режущего инструмента и видом обработки (чистовая, черновая). Для увеличения производительности станка скорость обратного хода обычно устанавливают больше скорости резания. На рис. 9-2 показаны график пути l и скорости v стола в зависимости от времени для одного цикла. Время цикла складывается из

$$T_{\text{ц}} = t_{\text{п,пр}} + t_{\text{пр}} + t_{\text{т,пр}} + t_{\text{п,обр}} + t_{\text{обр}} + t_{\text{т,обр}}, \quad (9-1)$$

где $t_{\text{п,пр}}$ и $t_{\text{п,обр}}$ — время пуска при прямом и обратном ходах; $t_{\text{пр}}$ и $t_{\text{обр}}$ — время прямого и обратного установившихся движений; $t_{\text{т,пр}}$ и $t_{\text{т,обр}}$ — время торможения при прямом и обратном ходах.

Производительность продольно-строгального станка характеризуется числом двойных ходов в минуту $N_{\text{дв,х}}$, которое зависит от длины хода стола, соотношения скоростей прямого и обратного ходов, времени реверсирования и может быть подсчитано по формуле

$$N_{\text{дв,х}} = \frac{60kv_{\text{пр}}}{60L(1+k) + t_{\text{рев}}kv_{\text{пр}}}, \quad (9-2)$$

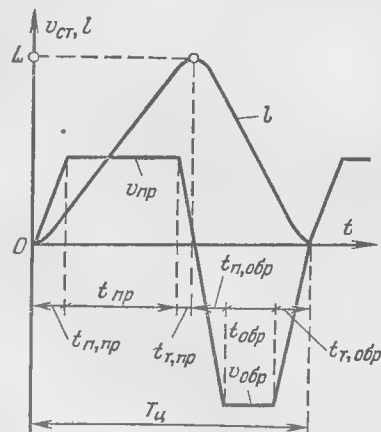


Рис. 9-2. Графики скорости и пути стола продольно-строгального станка.

где $k = v_{\text{обр}}/v_{\text{пр}}$; $v_{\text{пр}}$ и $v_{\text{обр}}$ — скорости прямого и обратного ходов стола, м/мин; L — длина хода стола, м; $t_{\text{рев}}$ — время реверсирования стола с прямого хода на обратный или наоборот, с.

Из уравнения (9-2) видно, что число двойных ходов и, следовательно, производительность станка возрастают с увеличением $v_{\text{обр}}$ (до определенного предела) при заданной скорости резания $v_{\text{пр}}$ и с уменьшением времени $t_{\text{рев}}$. При малых дли-

нах строгания наиболее эффективным средством повышения производительности является уменьшение времени реверса за счет повышения скорости привода и установления некоторой оптимальной (по производительности) скорости обратного хода. При больших длинах строгания наибольший эффект дает увеличение скорости обратного хода. Чрезмерное увеличение $v_{\text{обр}}$ (при малых и средних длинах строгания) может привести к такому росту $t_{\text{рев}}$, при котором повышение производительности не произойдет.

Сокращение времени реверса имеет свой предел, так как за время реверса у продольно-строгальных станков осуществляется подъем и опускание резцов, а также производится поперечная подача суппортов. Кроме того, с уменьшением $t_{\text{рев}}$ возрастают динамические нагрузки в передачах станка.

Время переходного процесса пуска или торможения зависит, как известно, от суммарного момента инерции электропривода. Например, время пуска (торможения),

$$t_{\text{п(т)}} \approx \frac{J_{\Sigma} \omega_c}{M_{\text{п,ср}} \mp M_c}, \quad (9-3)$$

где $M_{\text{п,ср}}$ — среднее значение момента двигателя при пуске, Н·м; M_c — момент статического сопротивления, Н·м; ω_c — угловая скорость двигателя, соответствующая моменту M_c , рад/с; J_{Σ} — суммарный момент инерции электропривода, кг·м².

Практика показывает, что в продольно-строгальных станках момент инерции двигателя $J_{\text{дв}}$ составляет до 80—85% общего приведенного момента инерции J_{Σ} движущихся поступательно и вращающихся элементов привода. Поэтому стараются вообще исключить реверсирование двигателя и производить изменение направления хода стола при помощи реверсивной электромагнитной муфты, либо устанавливают двигатели с удлиненным якорем (ротором), имеющие меньший момент инерции, либо устанавливают вместо одного два двигателя половинной мощности.

В современных продольно-строгальных станках регулирование скорости движения стола, а также его реверсирование осуществляется, как правило, электрическим путем, поэтому производительность станка и качество обрабатываемых изделий в значительной степени определяется работой привода стола.

Наименьшая скорость резания при черновой обработке принимается равной 4—6 м/мин. При чистовой обработке скорость резания на строгальных станках достигает 75—100 м/мин, следовательно, диапазон регулирования скорости стола равен $(15 \div 25) : 1$. При изменении скорости резания приблизительно от 5 до 25 м/мин тяговое усилие на рейке стола остается постоянным и наибольшим (зона I).

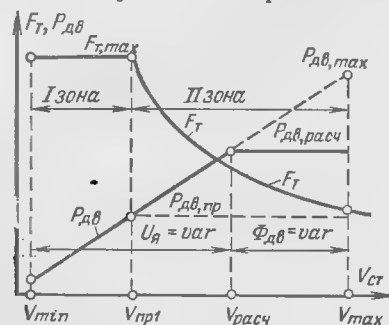


Рис. 9-3. Зависимость тягового усилия F_T и мощности двигателя $P_{дв}$ от скорости перемещения стола $v_{ст}$.

При дальнейшем увеличении скорости резания тяговое усилие F_T уменьшается (рис. 9-3, зона II). Следовательно, в зоне небольших скоростей момент, развиваемый двигателем, должен оставаться примерно постоянным, а при скоростях выше 25 м/мин остается неизменной мощность. Заданная угловая скорость двигателя должна поддерживаться во всем диапазоне с точностью до $\pm(5-10\%)$ при изменении нагрузки от 0,1 до 1,2 номинального момента. Динамический перепад скорости, вызванный резким приложением нагрузки (при входе резца в металл), должен быть не более 10—20%, а возникающий при этом переходный процесс должен заканчиваться в течение 0,1—0,2 с. Для главного привода продольно-строгальных станков целесообразно применять двигатели, обладающие повышенной перегрузочной способностью и пониженным моментом инерции, так как такие двигатели обеспечивают меньшее время пуска и торможения.

В продольно-строгальных станках нашли применение различные типы главных электроприводов в зависимости от размеров станка, тягового усилия и требуемого диапазона регулирования скорости.

Для небольших станков при $L \leq 3 \div 4$ м, $F_T \leq 30 \div 50$ кН и диапазоне регулирования скорости стола $D = (3 \div 4) : 1$ применяется привод от асинхронного короткозамкнутого двигателя в сочетании с коробкой скоростей и реверсивной электромагнитной муфтой.

В качестве главного привода средних [$L \leq 5$ м, $F_T \leq 50-70$ кН и $D = (6 \div 8) : 1$] и тяжелых [$L > 5$ м; $F_T > 70$ кН и $D = (15 \div 25) : 1$] продольно-строгальных станков в настоящее время используется двигатель постоянного тока, управляемый по системе Г—Д с ЭМУ или МУ в качестве возбудителя и промежуточными магнитными или полупроводниковыми усилителями. Эта система позволяет получить нужную форму характеристик двигателя, требуемый диапазон и плавность регулирования скорости движения стола, небольшое $t_{рев}$.

Недостатком системы Г—Д является необходимость выбора мощности источника постоянного тока — генератора и приводного асинхронного двигателя по установленной мощности двигателя стола, которая определяется наибольшим тяговым усилием или моментом, соответствующим минимальной скорости, и номинальным напряжением при номинальной угловой скорости двигателя. Особенно значительное завышение $P_{уст,дв}$ и соответственно $P_{г,ном}$ по сравнению с отдаваемой ими мощностью имеет место при регулировании угловой скорости двигателя только изменением ЭДС генератора.

С целью уменьшения установленной мощности электрических машин, повышения загрузки двигателя и КПД главного привода тяжелых продольно-строгальных станков по системе Г—Д целесообразно применять двухзонное регулирование угловой скорости двигателя. На выпускаемых в настоящее время станках начинают внедряться приводы с тиристорными преобразователями для питания цепи якоря и вводятся системы автоматического управления с применением унифицированной блочной системы регуляторов (УБСР), которые позволяют сравнительно просто реализовать высокое быстродействие привода по системе ТП—Д при хорошем качестве переходных процессов.

9-3. РАСЧЕТ МОЩНОСТИ ДВИГАТЕЛЯ СТОЛА ПРОДОЛЬНОГО СТРОГАЛЬНОГО СТАНКА

Снятие стружки при строгании производится только при рабочем ходе стола. При обратном же ходе резец приподнимается и мощность, развиваемая приводом, расходуется лишь на преодоление потерь в станке. Ско-

рость, с которой деталь перемещается относительно резца при рабочем ходе, называется скоростью резания. Перемещение резца на один двойной ход стола перпендикулярно детали составляет подачу s . Величина, на которую углубляется резец в изделие при одном проходе, определяет глубину резания t . При строгании подача и глубина резания принимаются: для черновой обработки $s=1\div 7$ мм/дв. ход, $t=6\div 30$ мм; для чистовой обработки широкими резцами $s=10\div 30$ мм/дв. ход и выше, $t=0,05\div 0,3$ мм.

Скорость, усиление и мощность резания определяются по формулам (7-1), (7-2) и (7-4) для токарной обработки. Значения коэффициентов и показателей в формулах находятся из справочников по режимам резания. Машинное время при строгании, затрачиваемое для обработки одного изделия, мин, можно найти по формуле

$$t_m = B/N_{\text{дв,ход}} s, \quad (9-4)$$

где B — ширина изделия, мм, $N_{\text{дв,ход}}$ — число двойных ходов в минуту, дв. ход/мин; s — подача на один двойной ход, мм/дв. ход.

Нагрузка двигателя главного привода продольно-строгального станка складывается из мощности резания, потерь в передачах и мощности, развиваемой двигателем в процессах пуска и торможения стола, которые происходят с моментами и токами, превышающими номинальные (дважды за один двойной ход стола и многократно в течение времени работы станка). Следовательно, привод таких станков работает в перемежающемся режиме с частыми реверсами (S7), поэтому выбор мощности двигателя производится по нагрузочной диаграмме с учетом загрузки в переходных режимах.

Для предварительного определения мощности двигателя главного привода и построения нагрузочной диаграммы принимают в качестве исходных следующие технические данные:

1) наибольшее усилие резания $F_{z,\text{max}}$, Н, и соответствующая этому усилию наибольшая скорость прямого хода стола $v_{\text{пр1}}$, м/мин;

2) наибольшая скорость стола v_{max} , м/мин;

3) наибольший вес, Н, обрабатываемой детали $G_{\text{дет}}$ и стола $G_{\text{ст}}$;

4) КПД передачи (до рейки стола) при полной нагрузке $\eta_{\text{п}}$;

5) длина хода стола L , м и коэффициент трения стола μ направляющие (принимается равным 0,05—0,08);

6) суммарный момент инерции вращающихся частей механизма привода и движущихся поступательно детали и стола.

Задаваясь наиболее тяжелым режимом, определяют мощность резания, кВт:

$$P_z = F_{z,\text{max}} v_{\text{пр1}} / (60 \cdot 1000). \quad (9-5)$$

Мощность потерь на трение стола о направляющие при прямом ходе, кВт;

$$\Delta P_{\text{напр}} = (G_{\text{дет}} + G_{\text{ст}}) \mu v_{\text{пр1}} / (60 \cdot 10^3), \quad (9-6)$$

Мощность на валу двигателя, кВт,

$$P_{\text{дв,пр}} = \frac{P_z + \Delta P_{\text{напр}}}{\eta_{\text{п}}} = \frac{F_{z,\text{max}} v_{\text{пр1}}}{60 \eta_{\text{п}}} 10^{-3}, \quad (9-7)$$

где $F_{z,\text{max}} = F_{z,\text{max}} + (G_{\text{дет}} + G_{\text{ст}} + F_x + F_y) \mu$ — тяговое усилие на рейке стола, Н; F_y , F_x , $F_{z,\text{max}}$ — составляющие усилия резания.

Зависимость $F_T = f(v_{\text{ст}})$ для определенного типа продольно-строгальных станков обычно задается графически (рис. 9-3) и состоит из двух участков: на первом из них тяговое усилие остается примерно постоянным от v_{min} до $v_{\text{пр1}}$, а на втором участке с ростом скорости усилие F_T уменьшается; следовательно, регулирование скорости привода стола на первом участке должно производиться при постоянном моменте (мощность при этом будет изменяться), а на втором — приблизительно с постоянной мощностью (при уменьшающемся моменте).

Предварительный выбор мощности производится с учетом способа регулирования скорости привода (или скорости стола):

а) Если предполагается применить асинхронный привод ($n = \text{const}$), то выбирается короткозамкнутый двигатель с номинальной мощностью $P_{\text{ном}} \geq P_{\text{дв,пр}}$ и $n_{\text{ном}} = v_{\text{пр1}} / \rho$, где $\rho = v_{\text{ст}} / n_{\text{дв}}$ — радиус приведения стола к валу двигателя, м/об; регулирование скорости стола в этом случае осуществляется ступенчато посредством коробки скоростей.

б) Если главный привод должен быть выполнен по системе Г—Д или ТП—Д, а регулирование угловой скорости двигателя во всем диапазоне будет производиться изменением ЭДС преобразователя, то предварительно

выбирается по каталогу двигатель постоянного тока с независимой вентиляцией продолжительного режима работы на номинальные мощность и частоту вращения $P_{\text{ном}} \geq P_{\text{дв,пр}} v_{\text{max}}/v_{\text{пр}}$ и $n_{\text{ном}} \approx v_{\text{max}}/\rho$ (на рис. 9-3 эта мощность обозначена как $P_{\text{дв,max}}$).

в) Если будет использовано двухзонное регулирование скорости привода, то предварительно задаются возможным диапазоном изменения потока двигателя $D_{\text{ф,расч}} = n_{\text{max}}/n_{\text{ном}} \leq D_{\text{ф доп}}$, определяют $v_{\text{расч}} = v_{\text{max}}/D_{\text{ф,расч}}$ и подсчитывают

$$P_{\text{дв,расч}} = P_{\text{дв,пр}} v_{\text{расч}}/v_{\text{пр}}, \quad (9-8)$$

и далее по каталогу на двигатели, допускающие регулирование частоты вращения ослаблением поля в нужном диапазоне, подбирают двигатель ближайшей большей мощности при $n_{\text{ном}} \approx v_{\text{расч}}/\rho$, так как скорость стола v_{max} обеспечивается изменением $\Phi_{\text{дв}}$ в диапазоне $D_{\text{ф}} = v_{\text{max}}/v_{\text{расч}}$, где $P_{\text{дв}} = \text{const}$.

По номинальным данным выбранного двигателя постоянного тока ($P_{\text{ном}}$, $U_{\text{ном}}$ и $I_{\text{ном}}$) выбирают преобразовательную установку: генератор и приводной асинхронный двигатель в системе Г—Д на максимально возможную частоту вращения ($n_{\text{ном}} = 1500 \div 3000$ об/мин) с целью уменьшения габаритов, массы и стоимости машинного агрегата, или тиристорный преобразователь и питающий трансформатор в системе ТП—Д.

Далее предварительно выбранный двигатель следует проверить по нагреву с учетом совместной работы двигателя и станка в установившихся и переходных режимах. Для этого строится нагрузочная диаграмма электропривода $M = f(t)$ для одного цикла работы станка. По исходным данным, приведенным ранее, определяют нагрузки привода в различных режимах.

Потери в передачах станка будут равны: при прямом ходе со скоростью $v_{\text{пр}}$ и полной нагрузке

$$\Delta P_{\text{нагр}} = P_{\text{дв,пр}} (1 - \eta_{\text{п}}) v_{\text{пр}}/v_{\text{пр1}}, \quad (9-9)$$

при прямом ходе вхолостую

$$\Delta P_{\text{х,пр}} \approx 0,6 \Delta P_{\text{нагр}}$$

и при обратном ходе $\Delta P_{\text{х,обр}} = \Delta P_{\text{х,пр}} v_{\text{обр}}/v_{\text{пр}}$.

Величина $P_{\text{дв,пр}}$ определена по (9-7).

Время установившегося движения при прямом и обратном ходах стола

$$t_{\text{пр}} = \frac{L}{v_{\text{пр}}} 60 - \frac{t_{\text{п,пр}} + t_{\text{т,пр}}}{2} \quad \text{и} \quad t_{\text{обр}} = \frac{L}{v_{\text{обр}}} 60 - \frac{t_{\text{п,обр}} + t_{\text{т,обр}}}{2}.$$

Время пуска и торможения подсчитывают по уравнению (9-3), задаваясь соответствующим моментом двигателя ($M_{\text{п}}$ и $M_{\text{т}}$), предварительно определив суммарный момент инерции привода.

Мощность на валу двигателя при прямом ходе вхолостую

$$P_{\text{дв,пр,х}} = 0,6 \Delta P_{\text{нагр}} + \Delta P_{\text{нагр}}, \quad (9-10)$$

где $\Delta P_{\text{нагр}} = (G_{\text{дет}} + G_{\text{ст}}) v_{\text{пр}} \mu' / (60 \cdot 10^3)$ — потери в направляющих стола.

Момент на валу двигателя, Н·м, при прямом ходе вхолостую

$$M_{\text{пр,х}} = P_{\text{дв,пр,х}} \cdot 1000 / \omega_{\text{пр}}. \quad (9-11)$$

Мощность на валу двигателя при обратном ходе

$$P_{\text{дв,обр}} \approx P_{\text{дв,пр,х}} v_{\text{обр}}/v_{\text{пр}}. \quad (9-12)$$

Момент на валу двигателя при обратном ходе

$$M_{\text{обр,х}} = P_{\text{дв,обр}} \cdot 1000 / \omega_{\text{обр}}. \quad (9-13)$$

В формулах (9-11) и (9-13) угловая скорость двигателя, рад/с, определяется выражением $\omega_i = v_{\text{ст},i} \pi / (30 \rho)$.

По найденным значениям $M_{\text{дв,пр,х}}$, $M_{\text{обр,х}}$ и $M_{\text{пр}} = P_{\text{дв,пр}} v_{\text{пр}} / (v_{\text{пр1}} \omega_{\text{пр}})$ строится с учетом момента холостого хода двигателя нагрузочная диаграмма станка (рис. 9-4, а).

Для проверки предварительно выбранного двигателя можно воспользоваться приближенной нагрузочной диаграммой электропривода, построенной исходя из следующих допущений: для упрощения расчетов задается идеализированной тахограммой $v_{\text{ст}} = f(t)$ одного цикла работы привода стола (рис. 9-4, б) без учета понижения скорости стола при врезании резца и выходе его из изделия; прямой ход стола производится при номинальной мощности резания со скоростью $v_{\text{пр1}}$; разгон и торможение привода происходят при холостом ходе под действием $M_{\text{п}} = M_{\text{т}} \approx (2 \div 2,2) M_{\text{дв,ном}}$.

В соответствии с изложенным на рис. 9-4, а приведена нагрузочная диаграмма привода стола для случая регулирования скорости изменением напряжения на якоре двигателя, пользуясь которой можно определить эквивалентный момент двигателя за цикл

$$M_{\text{экв}} = \sqrt{\frac{M_{\text{п}}^2 t_{\text{п, пр}} + M_{\text{пр}}^2 t_{\text{пр}} + M_{\text{рев}}^2 t_{\text{рев}} + M_{\text{обр, х}}^2 t_{\text{обр}} + M_{\text{т}}^2 t_{\text{т}}}{t_{\text{ц}}}}, \quad (9-14)$$

где $M_{\text{рев}} \approx M_{\text{т}}$ — момент двигателя при реверсе; $t_{\text{рев}} = t_{\text{т, пр}} + t_{\text{п, обр}}$ — время реверса привода.

Предварительно выбранный двигатель с независимой вентиляцией будет удовлетворять условиям нагрева, если $M_{\text{экв}} \leq M_{\text{ном}}$. В случае регулирования угловой скорости ослаблением поля двигателя нужно строить зависимость тока двигателя от времени и проверять его по методу эквивалентного тока.

Уточненная нагрузочная диаграмма может быть построена по данным конкретной системы управления электроприводом продольно-строгального станка [17].

9-4. ГЛАВНЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД ПРОДОЛЬНО-СТРОГАЛЬНОГО СТАНКА ПО СИСТЕМЕ Г—Д С МУ

Станкостроительные заводы СССР выпускают несколько моделей средних и тяжелых продольно-строгальных станков, например 7231А, 7242А, 7А27Р и другие, в которых для главного привода применяется двигатель постоянного тока независимого возбужде-

ния, управляемый по системе Г—Д с ЭМУ поперечного поля в качестве возбудителя [26]. Такая система привода позволяет получить большой диапазон регулирования скорости и необходимое время реверса.

С целью повышения надежности привода, получения высокой жесткости механических характеристик и необходимого быстродействия при заданном качестве переходных процессов в станках тех же моделей в последнее время вместо ЭМУ стали использовать МУ с промежуточными транзисторными усилителями (в тяжелых станках).

Рассмотрим особенности электропривода и работу схемы управления применительно к продольно-строгальному станку модели 7242Б. Станок предназначен для обработки изделий размером 4000×1500 мм, скорость резания регулируется от 5 до 75 м/мин, максимальное тяговое усилие при скорости $v_{\text{пр}} = 5 \div 25$ м/мин равно 90 кН. Для привода стола используются два двигателя постоянного тока на напряжение 110 В и мощностью по 32 кВт каждый, соединенных последовательно и питаемых от одного генератора ($P_{\text{ном}} = 70$ кВт, $U_{\text{ном}} = 230$ В). Замена одного двигателя полной мощности двумя двигателями половинной мощности уменьшает момент инерции привода стола, а следовательно, и потери энергии в переходных процессах, или увеличивает производительность станка за счет повышения ускорения. Регулирование угловой скорости двигателей производится только изменением напряжения генератора в диапазоне 15:1.

На рис. 9-5, а показана несколько упрощенная электрическая схема главного привода. Обмотка возбуждения генератора разделена на две части (ОВГ-I и ОВГ-II), включенные в плечи уравновешенного моста с двумя балластными резисторами $R_{\text{б1}}$ и $R_{\text{б2}}$. В диагонали моста включены два магнитных усилителя МУ1 и МУ2 (с внутренней обратной связью и выходом на постоянном токе), полярность напряжения которых такая, что токи $I_{\text{МУ1}}$ и $I_{\text{МУ2}}$ в полуобмотках возбуждения вычитаются, а в $R_{\text{б1}}$ и $R_{\text{б2}}$ складываются. Обмотки управления магнитных усилителей включены последовательно-встречно, поэтому при подаче в них тока один усилитель подмагничивается, а другой размагничивается. При этом ток нагрузки первого усилителя будет возрастать, а второго усилителя — снижаться (рис. 9-5, б). При перемене полярности тока управления изменения токов нагрузки бу-

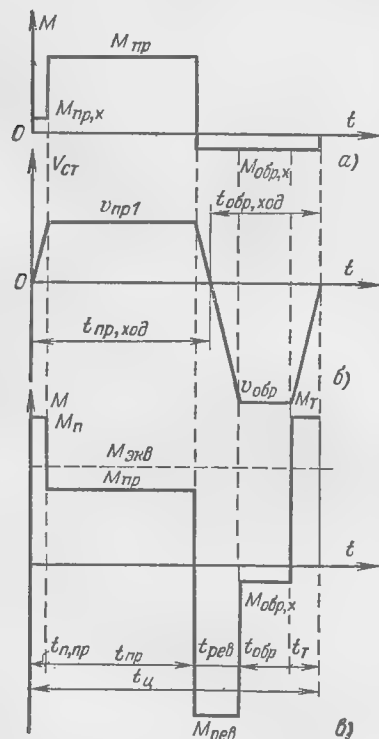


Рис. 9-4. Нагрузочная диаграмма привода стола продольно-строгального станка.

дут обратными. При отсутствии подмагничивания $MУ1$, $MУ2$ напряжения на их выходе будут одинаковыми, а разность токов в нагрузке равна нулю. При полном подмагничивании одного из магнитных усилителей, напри-

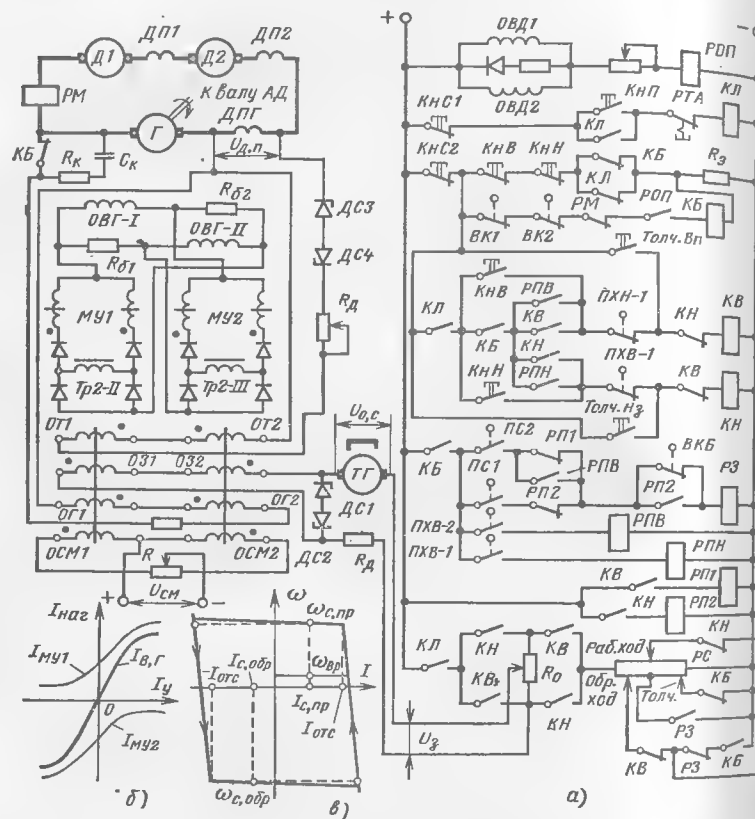


Рис. 9-5. Электрическая схема главного привода продольно-строгального станка по системе Г—Д с МУ.

мер $MУ1$, и размагничивании другого ($MУ2$) разность токов в нагрузке равна максимальному значению, т. е. $I_{в,г} = I_{в,ном}$ и $E_{г} = E_{г,мах}$. На обмотки управления $OЗ1$ и $OЗ2$ подается разность напряжений: задающего U_z , снимаемого с регулятора скорости $РС$ через потенциометр R_0 , и сигнала обратной связи по скорости $U_{о,с}$, снимае-

мого с тахогенератора $ТГ$. Таким образом, управляющее напряжение $MУ$, $MУ2$, от которого зависит ток возбуждения и напряжение генератора, определяется выражением

$$U_y = U_z - U_{о,с} = U_z - k_{о,с} \omega, \quad (9-15)$$

где $k_{о,с} = U_{тг}/\omega_{тг}$ — коэффициент обратной связи по скорости, величина которого определяется диапазоном регулирования скорости и требуемой жесткостью механических характеристик двигателя.

Из выражения (9-15) следует, что при заданной величине U_z с возрастанием нагрузки двигателей $Д1$ и $Д2$ их угловая скорость будет снижаться, что приведет к уменьшению напряжения $U_{о,с}$. Результирующий сигнал $U_y = I_y R_y$ на входе $MУ1$, $MУ2$ будет увеличиваться, что вызовет рост напряжения генератора и обеспечит поддержание заданного значения угловой скорости двигателей (рис. 9-5, в).

Ограничение тока якорной цепи при перегрузках и в переходных режимах пуска, торможения и реверса двигателей производится посредством узла отсечки по току. В этот узел входят: стабилитроны $ДС3$ и $ДС4$; обмотки управления магнитных усилителей $ОТ1$ и $ОТ2$, включенные на разность напряжений: $U_{д,п}$, снимаемого с обмоток дополнительных полюсов генератора, и $U_{пр}$ пробоя стабилитронов, выбираемых по условию

$$U_{пр} = (1,8 \div 2,0) I_{ном} R_{д,п} = I_{отс} R_{д,п}. \quad (9-16)$$

Если $U_{д,п} < U_{пр}$, то стабилитроны заперты и узел ограничения тока не действует. Когда же ток в якорной цепи превышает значение $I_{отс}$, то $U_{д,п} > U_{пр}$ и по обмоткам $ОТ1$, $ОТ2$ начинает проходить ток. Магнитодвижущая сила (МДС) этих обмоток направлена навстречу МДС задающих обмоток, поэтому разность токов в нагрузке магнитных усилителей будет уменьшаться, а это вызовет снижение напряжения генератора и ограничение дальнейшего возрастания тока в якорной цепи.

Схема управления главным приводом предусматривает автоматический и наладочный режим работы станка. В автоматическом режиме управление приводом осуществляется в функции пути, контролируемого конечными переключателями направления хода стола (вперед, назад) $ПХВ$, $ПХН$ и скорости стола $ПС1$ и $ПС2$. Предваритель-

но на столе станка расставляются в нужном положении упоры *a* и *б*, воздействующие на путевые переключатели (рис. 9-6, *a*), а рукоятками *Раб. ход* и *Обр. ход* регулятора скорости *РС* устанавливаются в соответствии с заданными значениями скорости рабочего и обратного ходов стола.

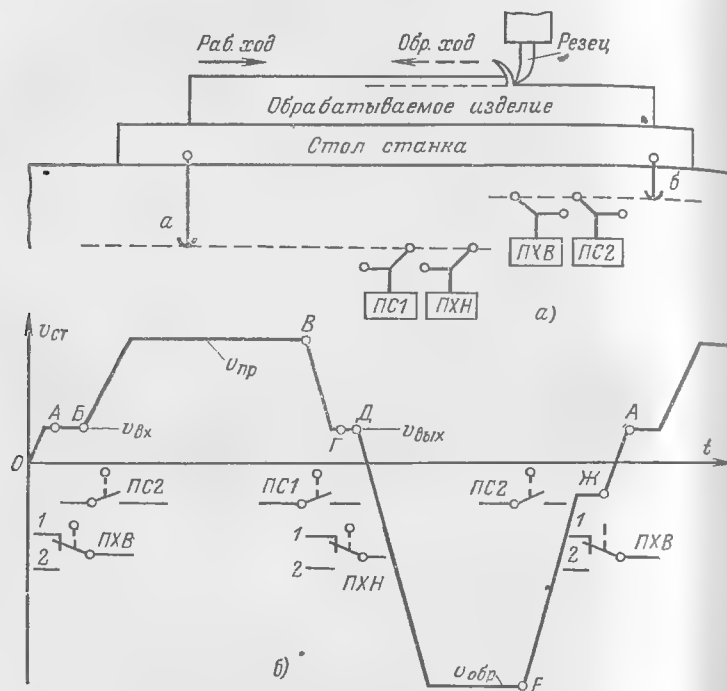


Рис. 9-6. Схематическое расположение переключателей (*a*) и диаграмма скорости движения стола за цикл работы продольно-строгольного станка (*б*).

Рассмотрим вначале последовательность действия контактов переключателей. Перед окончанием рабочего хода упор *a* нажимает последовательно на выключатели *ПС1* и *ПХН*. При воздействии на *ПС1* снижается скорость стола перед выходом резца из изделия, а затем при воздействии на *ПХН* происходит реверс с прямого хода на обратный. В начале обратного хода упор *a*, воздействуя на *ПХН* и *ПС1*, возвращает их контакты в прежнее

положение. В конце обратного хода упор *б* нажимает на *ПС2* — происходит снижение скорости, а затем, при воздействии на *ПХВ* дается сигнал на реверсирование с $v_{обр, min}$ на $v_{пр, min}$, при котором происходит врезание резца в изделие. Упор *б* в начале рабочего хода возвращает контакты *ПХВ* и *ПС2* в прежнее положение.

Перед пуском станка включается вводной автоматический выключатель *ВА*, при этом подается напряжение на силовую часть схемы и на трансформаторы *Tr1* и *Tr2* (указанные аппараты на рис. 9-5, *a* не показаны), ко вторичным обмоткам которых подключены: выпрямитель, питающий обмотки возбуждения двигателей *Д1*, *Д2* и схему управления, а также магнитные усилители *МУ1*, *МУ2* и другие узлы схемы. Нажатием на кнопку *КнП* включается контактор *КЛ* и своими главными контактами подключает асинхронный двигатель *АД* (на схеме не показан) преобразовательного агрегата (*Д—Г*).

Рассмотрим работу схемы в автоматическом режиме. На рис. 9-6, *б* приведена диаграмма скорости движения стола за двойной ход. Пусть работа привода начинается в точке 0. Если рукоятка *Раб. ход* регулятора скорости *РС* установлена в положение, соответствующее $v_{ст} > 12$ м/мин, то контакт переключателя *ВКБ* замкнут. Путевые выключатели *ПХВ* и *ПС2* нажаты, а *ПХН* и *ПС1* — освобождены.

Для пуска привода нажимается кнопка *КнВ*. Включаются контакторы *КБ* и *КВ*, реле *РПВ* и *РП1*, а также реле *РЗ*. Пониженное задающее напряжение $+U_{з, min}$, снимаемое с потенциометра *R0*, в данном случае не зависит от установки рукояток регулятора скорости *РС*. Это напряжение поступает на задающие обмотки *МУ1*, *МУ2*, генератор *Г* возбуждается и двигатели разгоняются до угловой скорости $\omega_{вр}$, при которой $v_{пр} = 12$ м/мин. Стол станка перемещается в направлении рабочего хода, и при пониженной скорости резец входит в изделие (точка *A* на диаграмме рис. 9-6, *б*). Затем освобождается переключатель *ПХВ*, и его контакт *ПХВ-2* размыкается (точка *B*). Отключается реле *РПВ* и затем реле *РЗ*. На задающие обмотки *ОЗ1*, *ОЗ2* подается напряжение $+U_{з, раб}$, обусловленное установкой рукоятки *Раб. ход* регулятора скорости. Напряжение, подводимое к якорю двигателя, увеличивается, и его угловая скорость возрастает до установленного значения. В процессе движения стола освобождается переключатель *ПС2*.

В конце рабочего хода (точка *В*) упор *а'* нажимает на рычаг переключателя скорости *ПС1*. Включается реле *РЗ*, а на вход *МУ1*, *МУ2* снова подается напряжение $+U_{з, \min}$. Напряжение генератора уменьшается и двигатель тормозится до угловой скорости, соответствующей скорости движения стола $\omega_{\text{пр}} = 12$ м/мин. На этой скорости резец выходит из изделия (точка *Г*). Затем упор нажимает на переключатель *ПХН*. Размыкается контакт *ПХН-1* и замыкается контакт *ПХН-2*. При этом отключается контактор *КВ*, срабатывает реле *РПН* и своим замыкающим контактом включает контактор *КН*. Вспомогательный контакт *КН* включает реле *РП2*. Оно в свою очередь размыкающим контактом разрывает цепь катушки реле *РЗ*. Поэтому на задающие обмотки *ОЗ1* и *ОЗ2* сразу подается полное напряжение $-U_{з, \text{обр}}$ в соответствии с установкой рукоятки регулятора скорости *Обр. ход*. Ток в обмотках управления *ОЗ1*, *ОЗ2* быстро уменьшается до нуля, а затем возрастает в обратном направлении. Аналогичным образом будет изменяться и напряжение генератора. Происходит реверс двигателя с пониженной угловой скорости прямого хода $\omega_{с, \text{пр}}$ до установленной скорости обратного хода $\omega_{с, \text{обр}}$ (рис. 9-5, в). При движении стола в процессе разгона освобождаются переключатели *ПХН* и *ПС1*.

Перед окончанием обратного хода (в точке *Е*) замыкается контакт *ПС2* и включается реле *РЗ*. Замыкающий контакт этого реле в цепи *РС* закрывается, а размыкающий — открывается, поэтому к задающим обмоткам *ОЗ1* и *ОЗ2* подводится пониженное напряжение $-U_{з, \min}$. Двигатели переходят в тормозной режим с рекуперацией энергии в сеть через генератор, который при этом работает двигателем, и асинхронный двигатель переходит в генераторный режим. Последующее перемещение стола происходит с пониженной скоростью до точки *Ж*, когда упор *б* нажмет на переключатель *ПХВ*. Контакт *ПХВ-1* размыкается, контакт *ПХВ-2* замыкается. Отключается контактор *КН* и включаются реле *РВП*, а затем контактор *КВ*, реле *РП1* и *РЗ*. На задающие обмотки *ОЗ1* и *ОЗ2* подается сигнал $+U_{з, \min}$. Происходит реверс привода с пониженной скорости обратного хода на пониженную скорость прямого хода. В дальнейшем цикл работы станка повторяется. Для остановки привода нажимается кнопка *КнС2*. Отключается контактор *КВ* (или *КН*),

$U_{з}$ становится равным нулю, и двигатели быстро затормаживаются.

При работе на станке со скоростями резания меньше 12 м/мин реле *РЗ* при рабочем ходе не действует, так как размыкается контакт *ВКБ* и задающие сигналы $U_{з, \text{раб}}$, снимаемые с регулятора *РС*, будут определяться только установкой рукоятки *Раб. ход*.

В наладочном (толчковом) режиме обеспечивается получение скоростей стола 5 м/мин и менее, устанавливаемых рукояткой регулятора скорости *Толчок*. Наладочный режим осуществляется при нажатии одной из кнопок *Толч. Вп* или *Толч. Нз*, что вызывает включение контактора *КВ* или *КН*. На вход *МУ1* и *МУ2* подается пониженное задающее напряжение, и двигатели будут перемещать стол в прямом или обратном направлении с малой скоростью. При отпускании нажатой кнопки отключается соответствующий контактор и двигатели быстро останавливаются.

Схема управления электроприводом предусматривает аварийное торможение двигателей *Д1* и *Д2*, которое происходит при отключении блокировочного контактора *КБ* в результате отсутствия тока в *ОВД1* и *ОВД2*, срабатывания ограничителей хода стола *ВК1*, *ВК2* или максимального реле *РМ*. С отключением контактора *КБ* теряют питание контакторы *КВ* или *КН*, и якорь генератора подключается на обмотки управления *ОГ1*, *ОГ2* магнитных усилителей таким образом, что выходной ток *МУ1*, *МУ2* размагничивает генератор.

В данной схеме электропривода предусмотрены: коррекция системы путем соединения якоря генератора через цепочку $R_k - C_k$ с обмотками управления *ОГ1*, *ОГ2* и ограничение напряжения на задающих обмотках *ОЗ1*, *ОЗ2* магнитных усилителей с помощью стабилизаторов *ДС1* и *ДС2* в переходных режимах, когда имеют место резкие изменения напряжений $U_{з}$ и $U_{о, с}$.

Рассмотренная схема главного привода продольно-строгального станка отличается большой надежностью, достаточно высоким быстродействием и обеспечивает широкое и точное регулирование частоты вращения двигателей. Недостатком системы Г—Д с МУ является низкий (до 25%) КПД возбудительного устройства. Перспективным следует считать применение возбудительных устройств на тиристорах или даже замену системы Г—Д реверсивной системой ТП—Д.

9.5. ГЛАВНЫЙ ПРИВОД ПРОДОЛЬНО-СТРОГАЛЬНОГО СТАНКА ПО СИСТЕМЕ ТП—Д С ПОДЧИНЕННЫМ РЕГУЛИРОВАНИЕМ

Наиболее перспективной для главного привода продольно-строгальных станков в настоящее время является замкнутая система электропривода с питанием якоря двигателя постоянного тока от реверсивного тиристорного преобразователя и с подчиненным регулированием па-

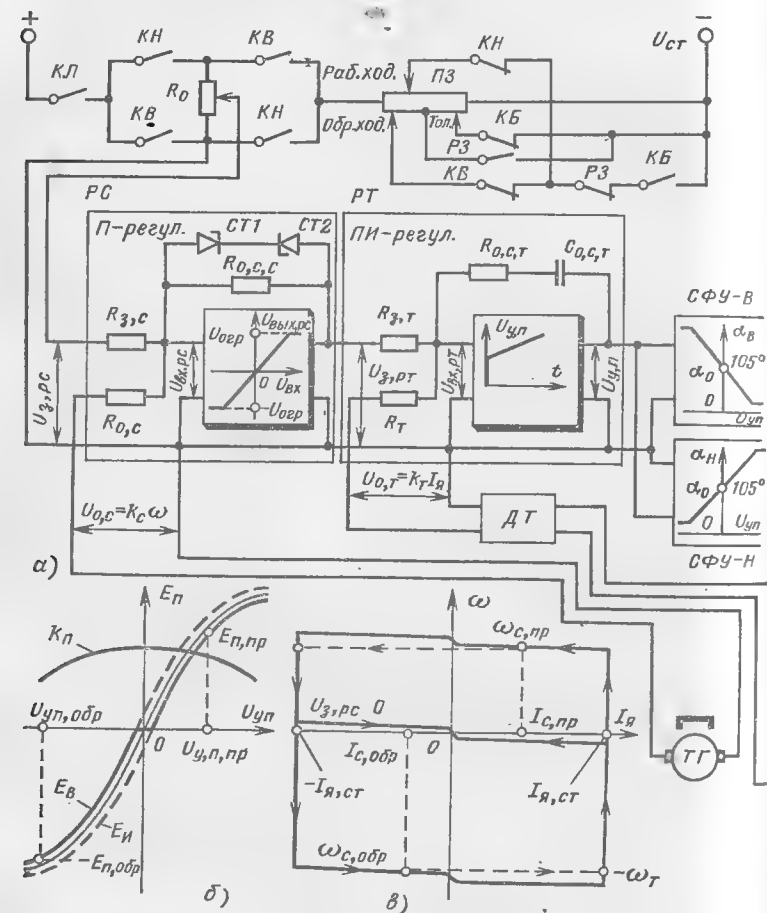
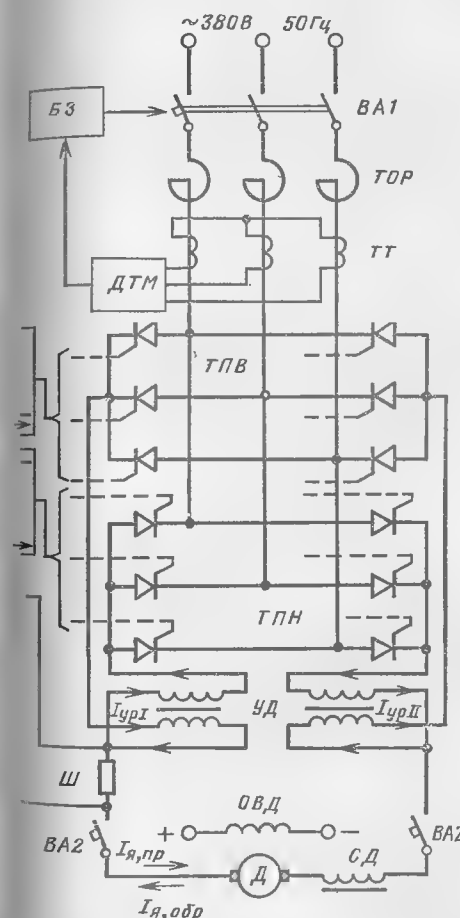


Рис. 9-7. Схема управления главным приводом продольно-строгально-а — функционально-принципиальная схема электропривода; б — регулировочная характеристика преобразователя; в — статические характеристики двигателя.

раметров. В подобных системах в качестве усилителей, датчиков, задающих устройств и источников питания применяются приборы унифицированной блочной системы регуляторов (УБСР) [5, § 49]. В качестве примера рассмотрим один из вариантов схемы такого привода для продольно-строгального станка средних размеров.

На рис. 9-7, а приведена функционально-принципиальная схема реверсивной системы ТП—Д с подчинен-



го станка по системе ТП—Д с подчиненным регулированием.

кая характеристика преобразователя; в — статические характеристики двигателя.

ным регулированием параметров и последовательной коррекцией. Якорь двигателя D получает питание от тиристорного преобразователя, состоящего из двух групп вентилей $ТПВ$ и $ТПН$, соединенных по встречно-параллельной мостовой схеме для работы с совместным управлением группами при нелинейном согласовании регулировочных характеристик $E_{\Sigma} = f(U_{y,п})$, когда, при любых значениях $U_{y,п} \leq U_{y,п,маx}$ соблюдается соотношение $E_{п,и} > E_{п,в}$ (рис. 9-7, б). Преобразователь $ТП$ подключен к сети 380 В через токоограничивающие реакторы $ТОР$. На стороне выпрямленного тока установлен сглаживающий дроссель $СД$. В цепи уравнильных токов включен четырехобмоточный дроссель $УД$ с электромагнитной связью контуров уравнильных токов $I_{ур1}$ и $I_{ур11}$.

Узел управления пуском, торможением и реверсом двигателя выполнен в виде двойного задающего потенциометра R_0 —ПЗ, получающего питание от источника стабилизированного напряжения +24 В через контакты контакторов $КВ$ и $КН$.

На вход усилителя $РС$, являющегося регулятором скорости, подается сигнал $U_{вх,РС}$, равный разности задающего напряжения $U_{з,РС}$ и напряжения обратной связи $U_{о,с}$, снимаемого с тахогенератора $ТГ$. На выходе $РС$ действует сигнал $U_{з,РТ}$, пропорциональный сигналу $U_{вх,РС}$. Следовательно, усилитель $РС$ представляет собой пропорциональный регулятор (П-регулятор).

Кроме основного внешнего контура регулирования скорости в схеме имеется внутренний замкнутый контур регулирования тока якоря двигателя $I_{я}$. Для этого пропорциональный току $I_{я}$ отрицательный сигнал $U_{о,т}$, снимаемый с шунта $Ш$ и усиленный датчиком тока $ДТ$, по цепи отрицательной обратной связи вводится на вход второго усилителя $РТ$ — регулятора тока. Здесь он алгебраически суммируется с сигналом $U_{з,РТ}$, образуя результирующий сигнал $U_{вх,РТ}$. Следовательно, выходной сигнал регулятора скорости $U_{вых,РС}$ является задающим сигналом для регулятора тока $U_{з,РТ}$. На выходе $РТ$, который охвачен местной обратной связью в виде цепочки $R_{о,с,т}C_{о,с,т}$, формируется сигнал $U_{у,п}$, поступающий на блоки фазового управления $СФУ$ —В и $СФУ$ —Н тиристорными группами $ТПВ$ и $ТПН$. В выходном сигнале $U_{вых,РТ} = U_{у,п}$ содержатся две составляющие, одна из которых пропорциональна сигналу $U_{вх,РТ}$, другая —

интегралу по времени от $U_{вх,РТ}$, т. е. регулятор $РТ$ — пропорционально-интегральный (ПИ-регулятор). Такой регулятор будет поддерживать значение тока якоря двигателя $I_{я}$ в соответствии с заданием, т. е. с сигналом $U_{з,РТ}$. Поэтому и говорят, что контур регулирования тока в данной схеме является подчиненным контуром регулирования скорости, отсюда и термин «подчиненное регулирование».

Для ограничения тока якоря двигателя величиной $I_{я,ст} \leq I_{я,доп}$ выходной сигнал регулятора $РС$ имеет ограничение на уровне $U_{огр} = U_{з,РТ,маx} = k_t I_{я,доп}$, где k_t — передаточный коэффициент цепи обратной связи по току. Ограничение выходного напряжения регулятора $РС$ производится с помощью стабилизаторов $СТ1$ и $СТ2$, подключаемых параллельно резистору обратной связи $R_{о,с,с}$.

Пуск двигателя в рассматриваемой схеме производится подачей задающего сигнала $U_{з,РС}$ с регулятора скорости стола ПЗ нажатием кнопки *Вперед* (релейно-контактная часть схемы управления приводом выполнена примерно так же, как в предыдущей схеме для системы Г—Д с МУ и здесь не рассматривается). Поскольку сигнал $U_{з,РС}$ во много раз превышает установившееся значение входного сигнала $U_{вх,РС}$, регулятор $РС$ входит в зону ограничения, и на его выходе действует сигнал $U_{огр}$. Контур регулирования скорости как бы замыкается, а контур регулирования тока вступает в действие, и двигатель начинает разгоняться практически при постоянном токе якоря, равном $I_{я,ст}$. По мере разгона возрастает сигнал $U_{о,с} = k_{\omega} \omega$ от тахогенератора $ТГ$. При угловой скорости двигателя, близкой к заданной, регулятор $РС$ выходит из зоны ограничения, и с этого момента вступает в действие обратная связь по скорости. Разгон двигателя заканчивается, и он переходит в установившийся режим при угловой скорости $\omega_{с,пр}$ и токе якоря $I_{с,пр}$, соответствующих нагрузке стола при прямом ходе.

В конце прямого хода стола переключаются контакты путевого выключателя $ПХН$ (см. рис. 9-6), при этом изменяется полярность задающего сигнала $U_{з,РС}$, и регулятор $РС$ входит в зону ограничения при $-U_{огр}$. Сигнал управления преобразователя $U_{у,п}$ на входе обеих $СФУ$ уменьшается. Преобразователь $ТПВ$ закрывается, а $ТПН$ будет работать в инверторном режиме при $\alpha_{и} > 90^\circ$. Ток якоря $I_{я}$, изменив направление, станет тор-

мозным и благодаря действию регулятора PT будет поддерживаться на уровне $-I_{я,ст}$. Происходит рекуперативное торможение двигателя D и далее его разгон в направлении *Назад* (обратный ход стола).

При отключении контактов KB или KH задающий сигнал станет равным нулю, и под действием сигнала обратной связи $U_{о,с}=k_{\omega}\omega$ будет осуществляться рекуперативное торможение двигателя при $I_{я}=-I_{я,ст}$ в зоне больших скоростей, и по характеристике $\omega=f(I_{я})$, соответствующей $U_{з,рс}=0$, при низких скоростях (рис. 9-7, в).

В установившемся режиме работы привода сигнал на входе PT равен $U_{вх,PT}=U_{з,PT}-U_{о,т}=0$, а на выходе PT сигнал существует (он накоплен в процессе разгона двигателя за счет интегрирующего действия регулятора) и значение его таково, чтобы обеспечилась ЭДС преобразователя $E_{п,пр}$ или $E_{п,обр}$, необходимая для работы двигателя со скоростью $\omega_{с,пр}$ или $\omega_{с,обр}$ при токе нагрузки $I_{с,пр}$ или $I_{с,обр}$.

Уравнения статических электромеханической и механической характеристик двигателя в данной системе на участке работы регулятора скорости можно получить из условия равенства сигналов $U_{о,т}=U_{з,PT}$, или $k_{т}I_{я}=(U_{з,рс}-k_{\omega}\omega)k_{рс}$, откуда находим выражения для угловой скорости

$$\omega = \frac{U_{з,рс}}{k_{\omega}} - I_{я} \frac{k_{т}}{k_{с}k_{рс}} \quad \text{или} \quad \omega = \omega_{ов} - M \frac{k_{т}k_{дв}}{k_{с}k_{рс}}, \quad (9-17)$$

где $k_{с}=U_{з,рс,мах}/\omega_{мах}$ — коэффициент обратной связи по скорости, В·с/рад; $k_{т}=U_{з,PT,мах}/I_{я,ст}$ — коэффициент обратной связи по току, Ом; $k_{рс}=T_{м}Ck_{т}/(4T_{п}k_{с})$ — коэффициент передачи регулятора скорости (здесь $T_{п}=0,01$ с — некомпенсированная постоянная времени контура тока); $c=E_{я,ном}/\omega_{ном}$ — постоянная двигателя по ЭДС, В·с/рад, или по моменту $c=M_{ном}/I_{ном}$, Н·м/А, в системе СИ численно равны; $k_{дв}$ — коэффициент передачи двигателя, А/(Н·м).

Жесткость характеристик двигателя на этом участке определяется соотношением параметров $k_{т}$, $k_{с}$, $k_{рс}$ и может быть обеспечена достаточно высокой. На участке работы регулятора тока, как отмечалось выше, $I_{я}=-I_{я,ст}$. Вид электромеханических характеристик двигателя при прямом и обратном ходах стола, соответствующих различным значениям сигнала $U_{з,рс}$, показан на рис. 9-7, в.

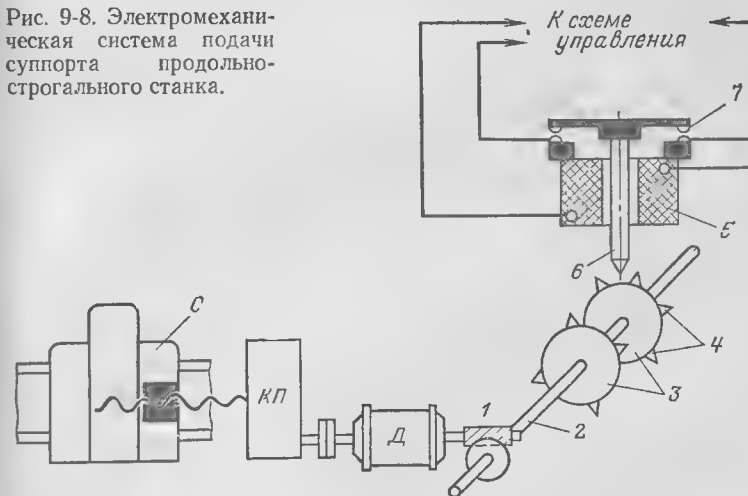
Применение подчиненного регулирования на базе использования в качестве регулятора тока и скорости элементов УБСР упрощает монтаж, наладку и эксплуатацию сложных электроприводов, дает возможность удобно и эффективно корректировать переходные процессы электропривода. Аналогично реализуется подчиненное регулирование и в других системах электропривода, например в системе Г—Д с тиристорным возбудителем генератора.

9-6. ЭЛЕКТРОПРИВОД ПОДАЧИ СУППОРТОВ ПРОДОЛЬНО-СТРОГАЛЬНЫХ СТАНКОВ

Подача суппортов продольно-строгальных станков производится периодически, обычно при реверсировании с обратного хода на прямой, и должна закончиться до начала резания. Подача осуществляется механическими, электромеханическими, электрическими или гидравлическими устройствами. Привод подачи должен обеспечивать регулирование подачи в диапазоне $(40 \div 80) : 1$, при этом время наибольшей подачи не должно превышать времени реверса стола станка (десятые доли секунды).

В современных станках для периодической подачи суп-

Рис. 9-8. Электромеханическая система подачи суппорта продольно-строгального станка.



портов находят широкое применение электромеханические устройства с приводом от отдельного асинхронного двигателя, который автоматически включается в соответствующий момент цикла, производит перемещение суппорта и затем также автоматически выключается.

Пример такого устройства показан на рис. 9-8. Двигатель *Д* через коробку передач *КП* приводит в движение суппорт: станка *С*, а через червячную передачу *1* вращает валик *2*, который несет несколько дисков *3* одного диаметра, но имеющих различное число выступов (шипов) *4*. Расстояние между соседними выступами каждого диска соответствует определенной подаче суппорта. Количество дисков равно числу подач при данном передаточном отношении коробки передач, которая обычно имеет три ступени. Над дисками установлено электромагнитное реле *5*, которое может перемещаться вдоль оси валика *2* с помощью каретки и реечной передачи (на схеме не показаны). Нижняя часть якоря реле имеет наконечник *6*, а верхняя — замыкающие контакты *7*. В конце обратного хода стола станка одновременно получают питание двигатель подачи суппортов *Д* и реле *5*, якорь которого опускается. Начинается подача суппорта, одновременно вращается валик *2* с дисками *3*. Когда выступ диска, находящегося под якорем, приподнимает последний, контакты реле размыкаются, двигатель подачи отключается от сети и быстро останавливается. Механизм подачи готов к следующему циклу.

Глава десятая

ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ ФРЕЗЕРНЫХ СТАНКОВ

10-1. НАЗНАЧЕНИЕ И УСТРОЙСТВО ФРЕЗЕРНЫХ СТАНКОВ

Фрезерные станки предназначены для обработки наружных и внутренних плоских и фасонных поверхностей, прорезки прямых и винтовых канавок, нарезки резьб наружных и внутренних, зубчатых колес и т. п. Характерная особенность фрезерных станков — работа вращающимися многолезвийными режущими инструментами — фрезами. На рис. 10-1 показана схема фрезерования. Главным движением v_z является вращение фрезы *2*, движением подачи v_n — перемещение изделия *1*. Каждое из

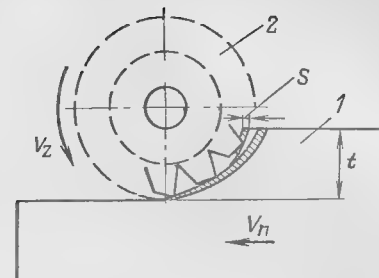


Рис. 10-1. Схема фрезерования.

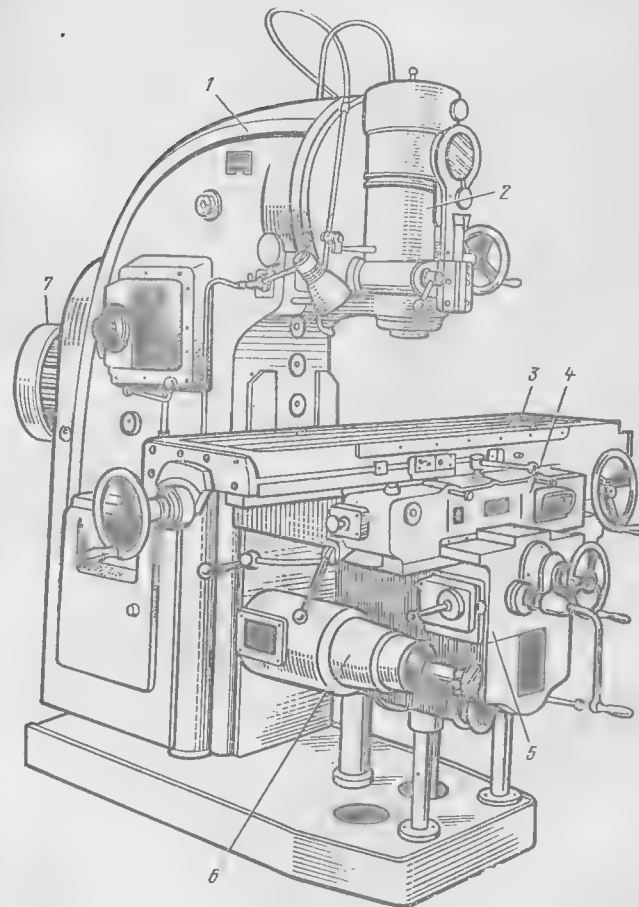


Рис. 10-2. Вертикально-фрезерный станок модели 6Н13.

лезвий фрезы снимает стружку в течение лишь доли оборота фрезы, причем сечение стружки с непрерывно меняется от нуля до наибольшей величины.

Фрезерные станки делятся на две основные группы: 1) станки общего назначения, к которым относятся горизонтальные, вертикальные и продольно-фрезерные станки; 2) специализированные станки — зубофрезерные, копировально-фрезерные и др.

Вертикально-фрезерный станок показан на рис. 10-2. Основные узлы станка: станина 1, в верхней части которой расположена поворотная фрезерная головка 2, консоль 5, несущая салазки 4, рабочий стол 3. Консоль может передвигаться вверх и вниз по вертикальным направляющим станины. По горизонтальным направляющим консоли перемещаются салазки 4, а по направляющим салазок — рабочий стол. Таким образом, станок имеет три взаимно перпендикулярных движения подачи, осуществляемых через коробку подач 6 от встроенного внутри нее асинхронного двигателя. Вращение фрезе сообщается от двигателя 7 через коробку скоростей, расположенную внутри станины. Вертикально-фрезерные станки применяются главным образом для обработки плоскостей торцевыми фрезами, а также для фрезерования пазов, шпоночных канавок и т. п.

Горизонтально-фрезерные станки отличаются от вертикально-фрезерных расположением шпинделя, ось которого устанавливается горизонтально. Эти станки применяются для обработки плоскостей цилиндрическими фрезами, для прорезания канавок дисковыми фрезами, для обработки линейных поверхностей фасонными фрезами и т. п.

Обработка фрезерованием горизонтальных, вертикальных и наклонных поверхностей крупногабаритных тяжелых деталей производится на **продольно-фрезерных станках** (рис. 10-3), по внешнему виду напоминающих продольно-строгальные. На траверсе и стойках располагаются шпиндельные бабки с цилиндрическими или торцевыми фрезами, осуществляющие главное (вращательное) движение в этих станках. Продольная подача сообщается столу с деталью, вертикальная и поперечная — инструменту. На продольно-фрезерных станках в электромашиностроении обрабатывают опорные поверхности лап и коробок выводов станин электрических машин.

Копировально-фрезерные станки предназначены для обработки пространственно сложных поверхностей методом копирования по моделям. На этих станках изготавливаются рабочие колеса гидротурбин, кованые и вырубные штампы, линейные и прессовые формы и др. Обработка подобных изделий на универсальных станках практически невозможна.

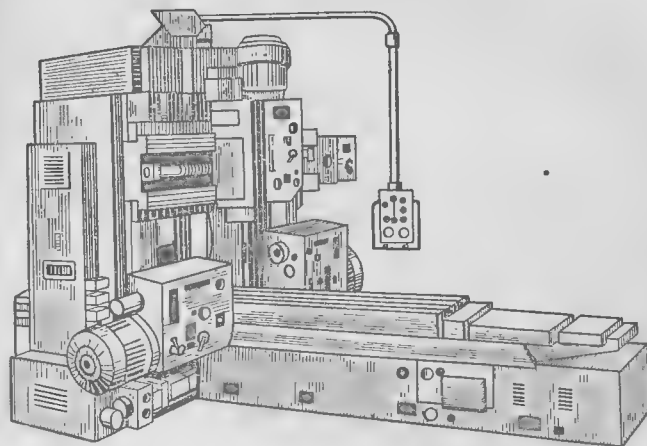


Рис. 10-3. Двухстоечный продольно-фрезерный станок.

Наибольшее распространение получили копировально-фрезерные станки с электрическим следящим управлением — **электрокопировальные фрезерные станки**. Примером может служить станок модели 6441Б (рис. 10-4). По направляющим станины 1 передвигается стол 2, на котором установлена стойка 3. На ее передней плоскости 4 закрепляются модель и заготовка. По неподвижной стойке 7 в вертикальном направлении может двигаться траверса 8, несущая шпиндельную бабку 9, в корпусе которой находятся двигатель шпинделя, коробка скоростей и шпиндель 11 с фрезой. Шпиндельная бабка перемещается вдоль оси шпинделя по направляющим траверсы. На кронштейне 6 шпиндельной бабки установлена копировальная головка 5 — копировальный измерительный прибор. В переднюю стенку шпиндельной бабки встроен пульт управления 10.

Станок имеет три движения подачи: горизонтальное — перемещение стола, вертикальное — перемещение шпиндельной бабки, поперечное — перемещение шпиндельной бабки вдоль оси шпинделя. Обработка деталей произво-

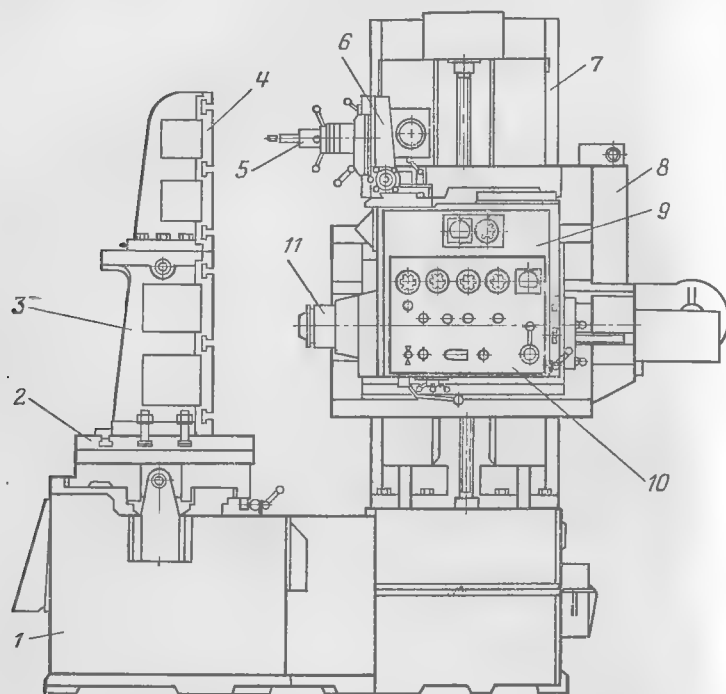


Рис. 10-4. Копировально-фрезерный станок модели 644Б.

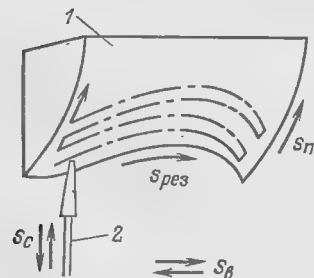


Рис. 10-5. Схема объемного копирования.

дится пальцевыми цилиндрическими или конусными фрезами, торцевыми фрезами и др.

Принцип обработки копированием был рассмотрен в § 7-6 для токарных станков, т.е. для случая двумерного копирования. Обработка объемных деталей на копировально-фрезерном станке происходит строчками — горизонтальными или вертикальными

(рис. 10-5). Модель 1 как бы разбивается на ряд плоских профилей. Движение $s_{рез}$ копировального пальца 2 вдоль такого профиля получается как сумма движений ведущей подачи $s_в$ и следящей поперечной подачи $s_с$, т.е. осуществляется двумерное копирование. После прохода строчки совершается периодическая подача $s_п$. Далее следует изменение направления ведущей подачи, образование новой строчки и т.д.

10-2. ТИПЫ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ ФРЕЗЕРНЫХ СТАНКОВ

Фрезерные станки относятся к группе станков с главным вращательным движением. Диапазон регулирования угловых скоростей шпинделя составляет от 20 : 1 до 60 : 1 при сохранении постоянства отдаваемой электродвигателем мощности. Изменения угловой скорости шпинделя в процессе обработки, как правило, не требуется, поэтому для фрезерных станков обычно применяется ступенчатое регулирование скорости главного привода. Особых требований в отношении пускового момента, а также продолжительности пуска и торможения привода не предъявляется.

Для приводов главного движения фрезерных станков малых и средних размеров используются одно- или многоскоростные асинхронные короткозамкнутые двигатели в сочетании с коробкой скоростей. Исполнение двигателей обычно фланцевое. Привод подачи таких станков в большинстве случаев осуществляется от главного двигателя через многоступенчатую коробку подач. Общий диапазон регулирования подачи до (20—30) : 1. В станках, на которых не производятся зуборезные работы, для привода подачи целесообразно применять отдельные электродвигатели, что значительно упрощает конструкцию станка.

Главный привод тяжелых продольно-фрезерных станков также выполняется от асинхронных двигателей с механическим ступенчатым изменением угловой скорости шпинделя. Для приводов подачи стола и фрезерных головок таких станков, диапазон регулирования скорости которых достигает значений (40÷60) : 1, применяются двигатели постоянного тока, включаемые по системе Г—Д с ЭМУ в качестве возбудителя. В настоящее время для таких приводов используют систему ТП—Д.

Вспомогательные приводы фрезерных станков: приводы насосов охлаждения, смазки и гидросистем, быстрого перемещения фрезерных головок и поперечин у продольно-фрезерных станков и других — осуществляются от отдельных асинхронных электродвигателей.

10.3. РАСЧЕТ МОЩНОСТИ ДВИГАТЕЛЕЙ ФРЕЗЕРНЫХ СТАНКОВ

Фрезерные станки общего назначения и зубофрезерные станки большей частью работают в продолжительном режиме с постоянной нагрузкой. В этом случае мощность двигателя определяется по рассчитанной, исходя из технических показателей, наибольшей нагрузке, возможной для данного станка.

Нормативная скорость резания, м/мин, при фрезеровании определяется по формуле

$$v_z = \frac{C_v d^q}{T^m s^y t^x v B^k z^n}, \quad (10-1)$$

где C_v — коэффициент, зависящий от обрабатываемого материала, типа фрезы (цилиндрическая, торцевая и т. д.) и вида обработки (черновая или чистовая); d — диаметр фрезы, мм; z — число зубьев фрезы; s — подача на зуб фрезы, мм; t — глубина фрезерования (толщина слоя металла, снимаемого за один проход), мм; B — ширина фрезерования, мм; T — стойкость фрезы, принимаемая обычно для цилиндрических, торцевых, дисковых и фасонных фрез при обработке стали и ковкого чугуна равной 180 мин, при обработке серого чугуна 240 мин.

Усилие резания или окружное усилие при фрезеровании, Н, рассчитывается по формуле

$$F_z = 9,81 C_F t^x F s^y F z d^i. \quad (10-2)$$

Значения показателей степени и коэффициентов в уравнениях (10-1) и (10-2) берутся из справочника по режимам резания. Подача для цилиндрических фрез при черновом (грубом) фрезеровании на мощных станках составляет $s=0,02 \div 0,6$ мм на зуб. При чистовом фрезеровании подача снижается до $0,02 \div 0,08$ мм на зуб. Глубина фрезерования t может достигать до 15 мм.

При известных значениях усилия и скорости резания мощность резания, кВт, можно определить по формуле

$$P_z = F_z v_z / (60 \cdot 10^3). \quad (10-3)$$

Мощность на валу главного электродвигателя, соответствующая мощности резания, определяется с учетом потерь в механических передачах станка по формуле

$$P_{дв} = P_{z, ном} / \eta_{ст, ном}, \quad (10-4)$$

где $P_{z, ном}$ — наибольшая возможная (номинальная) мощность резания;

$\eta_{ст, ном}$ — КПД станка при номинальной нагрузке (обычно составляет $0,75 \div 0,8$).

По найденному значению $P_{дв}$ выбирается двигатель равной или несколько большей мощности на соответствующую номинальную частоту вращения.

При механическом приводе подачи от главного двигателя через коробку подач мощность этого двигателя должна быть примерно на 5% больше мощности, необходимой для цепи главного движения.

Машинное время, мин, за один проход фрезы при циклическом фрезеровании определяется по формуле

$$t_m = (l + l_0 + y) / s_m, \quad (10-5)$$

где l — длина фрезерования, мм; l_0 — длина врезания, мм; y — перебеж фрезы, мм; s_m — минутная подача (скорость подачи), мм/мин.

Длина врезания определяется по формуле

$$l_0 = \sqrt{t(d-t)}, \quad (10-6)$$

где t — глубина резания, мм; d — диаметр фрезы, мм.

Представляет собой интерес расчет мощности двигателя подачи стола тяжелых продольно-фрезерных станков, диапазон регулирования скорости рабочих подач которых равен $D_{раб} = (30 \div 200) : 1$, а быстрые перемещения в $1,5 \div 4,2$ раза больше $v_{раб, п}$. Кинематическая схема привода стола оказывается наиболее простой при условии, что весь диапазон подач (от минимальной рабочей, до ускоренного перемещения) обеспечивается за счет регулирования угловой скорости двигателя. При этом мощность двигателя, кВт, в случае регулирования угловой скорости только изменением U_n определяется: наибольшим тяговым усилием на столе $F_{т, max}$, наибольшей скоростью быстрого перемещения $v_{б, пер}$ и потерями в передаче ($\eta_{п}$). Расчетная формула имеет вид:

$$P_{дв, расч} = \frac{F_{т, max} v_{б, пер}}{60 \eta_{п}} 10^{-3}. \quad (10-7)$$

Технические данные основных моделей продольно-фрезерных станков [17] показывают, что в диапазоне рабочих подач требуется регулирование скорости при $F_{т, max}$, а при быстрых перемещениях стола требуемое тяговое усилие уменьшается в 1,5—2 раза. Двигатель, выбранный по (10-7), не используется по мощности во всем диапазоне регулирования.

Для наиболее полного использования электропривода угловую скорость двигателя постоянного тока независимого возбуждения в зоне рабочих подач следует регулировать изменением $U_{я}$, и при быстрых перемещениях — изменением $\Phi_{возб}$, т. е. следует применять двухзонное регулирование скорости привода.

Практически не всегда удается обеспечить совпадение необходимых диапазонов регулирования скорости подачи стола с регулировочными возможностями двигателей, так как обычно $D_{ф, доп} < D_{б, пер}$ стола и приходится применять регулирование угловой скорости двигателя изменением напряжения на якоре на том участке диапазона регулирования, где $F_{т} < F_{т, max}$, т. е. несколько завышать установленную мощность двигателя.

Пример 10-1. Определить мощность двигателя и выбрать тиристорный преобразователь для привода подачи стола продольно-фрезерного станка. Тяговое усилие на столе при рабочих подачах $F_{т, max} = 51\,500$ Н, диапазон рабочих подач стола $v_{ст, min}/v_{ст, раб} = 23,5/950$ мм/мин; тяговое усилие при быстром перемещении стола со скоростью $v_{б, пер} = 3000$ мм/мин равно $F_{т, б, пер} = 28\,300$ Н; радиус приведения от рейки стола к двигателю $\rho = 1,33$ мм/об, КПД передачи $\eta_{п} = 0,24$.

Решение. Расчетные значения мощности и частоты вращения двигателя при однозонном регулировании

$$P_{дв, расч} = \frac{F_{т, max} v_{б, пер}}{60 \eta_{п}} \cdot 10^{-3} = \frac{51\,500 \cdot 3,0}{60 \cdot 0,24} \cdot 10^{-3} = 10,8 \text{ кВт};$$

$$n_{дв, расч} = v_{б, пер} / \rho = 3000 / 1,33 = 2255 \text{ об/мин.}$$

В этом случае следует применить закрытый двигатель с естественным охлаждением типа ПБСТ-63: $P_{ном} = 11$ кВт, $n_{ном} = 2200$ об/мин, $U_{ном} = 220$ В, $I_{ном} = 54$ А, $n_{max} = 3600$ об/мин, $M_{ном} = 47$ Н·м.

При двухзонном регулировании скорости приводов с двигателями новой серии 2ПБ, которые допускают изменение частоты вращения ослаблением потока в диапазоне до (3—3,5):1, расчетные значения мощности и частоты вращения при $D_{ф, доп} = 3:1$ будут равны:

$$P_{дв, расч} = \frac{F_{т, max} v_{ст, расч}}{60 \eta_{п}} \cdot 10^{-3} = \frac{51\,500 \cdot 1,0}{60 \cdot 0,24} \cdot 10^{-3} = 3,6 \text{ кВт};$$

$$n_{дв, расч} = v_{ст, расч} / \rho = 1000 / 1,33 = 751 \text{ об/мин,}$$

$$\text{где } v_{ст, расч} = v_{б, пер} / D_{ф, доп} = 3000 / 3 = 1000 \text{ об/мин.}$$

Выбираем двигатель типа 2ПБ-180 L: $P_{ном} = 4,2$ кВт, $U_{ном} = 220$ В, $n_{ном} = 750$ об/мин, $I_{ном} = 22,2$ А, $M_{ном} = 53,3$ Н·м, $n_{max} = 2500$ об/мин. Для питания двигателя можно использовать трехфазные реверсивные тиристорные преобразователи серии ЭТЗР: для первого двигателя — типа ЭТЗР12-25/220 с трансформатором ТТ-25, для второго — типа ЭТЗР14-11/220 с трансформатором ТТ-14.

10-4. ЭЛЕКТРОПРИВОД И СХЕМА УПРАВЛЕНИЯ ВЕРТИКАЛЬНО-ФРЕЗЕРНОГО СТАНКА

Вертикально- и горизонтально-фрезерные станки разных моделей имеют ряд однотипных узлов и сходные схемы управления электроприводами. В качестве примера рассмотрим электрооборудование вертикально-фрезерного станка модели 654.

Шпиндель станка получает вращение от асинхронного двигателя мощностью 13 кВт при 141 рад/с через коробку скоростей, которая дает 18 ступеней угловой скорости (от 2,5 до 125 рад/с). Переключение скоростей производится вручную. Продольное и поперечное перемещение стола (в диапазоне регулирования скоростей подачи от 10 до 1000 мм/мин) и вертикальное перемещение шпиндельной бабки (в диапазоне регулирования от 4 до 400 мм/мин) осуществляются от двигателя постоянного тока через коробку подач при бесступенчатом электрическом регулировании угловой скорости в диапазоне 10:1. Электромеханическое регулирование скорости обеспечивает рабочие подачи и быстрые перемещения стола и шпиндельной бабки станка. Изменение направления движения осуществляется электромагнитными муфтами, которые смонтированы внутри корпуса коробки подач. Электромагнитные муфты обеспечивают как независимое включение всех трех перемещений, так и их одновременное действие.

Электрическая схема управления электроприводами станка, обеспечивающая наладочный и рабочий режимы, приведена на рис. 10-6. Направление вращения шпинделя задается переключателем ВП. Пуск двигателя шпинделя ДШ для продолжительной работы производится нажатием кнопки $K_{нП1}$, при этом включаются контактор КШ и реле РП1. Для быстрой остановки двигателя шпинделя следует нажать кнопку $K_{нС1}$ и удерживать ее в течение 1,5—2 с. При этом отключается контактор КШ

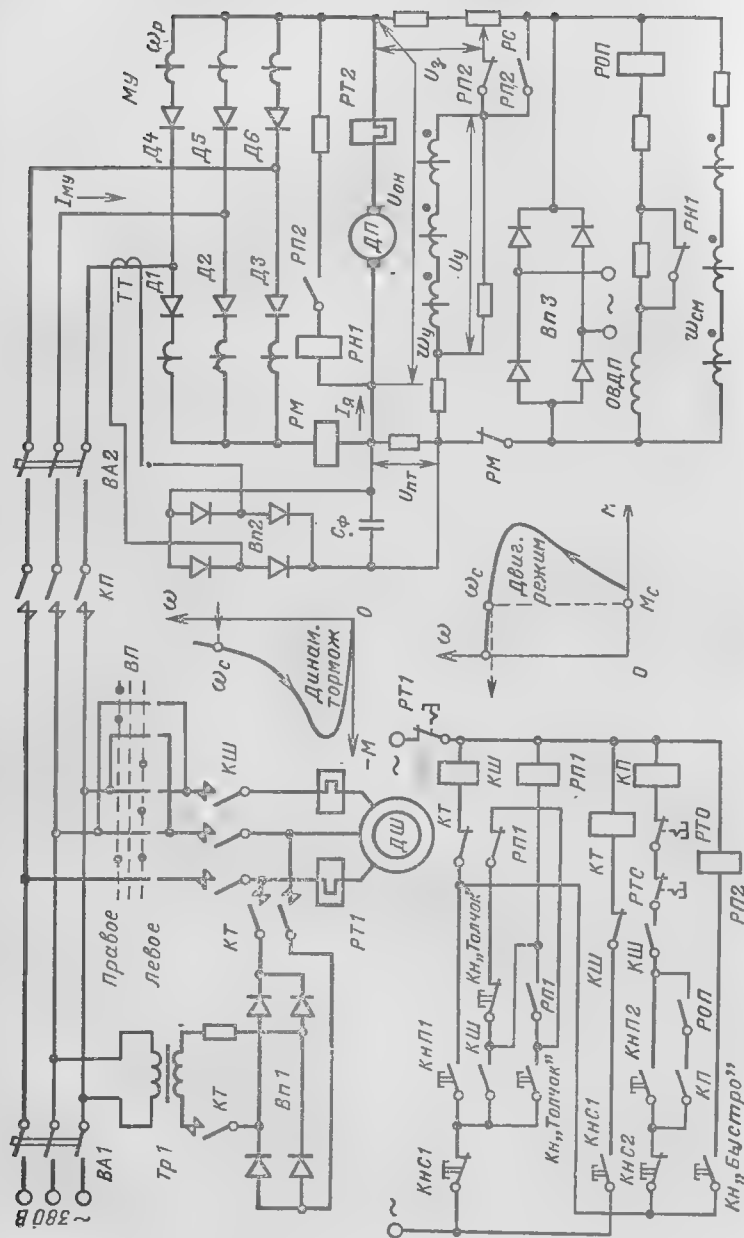


Рис. 10-6. Схема управления электроприводами вертикально-фрезерного станка.

и включается контактор $КТ$, обмотка статора присоединяется к выпрямителю $Вп1$ и происходит динамическое торможение двигателя. С отпусканием кнопки $КНС1$ контактор $КТ$ отключается, и схема приходит в исходное состояние.

Наладочный режим, предназначенный для проверки правильности установки обрабатываемых изделий и инструмента, а также для опробования отдельных узлов станка, может быть осуществлен кратковременным нажатием кнопки $Кн$ «Толчок». Двигатель $ДШ$ в этом случае будет работать в течение времени воздействия на кнопку.

Для движений подачи применен комплектный привод типа ПМУ6М. Пуск двигателя подачи $ДП$ производится нажатием кнопки $КнП2$ и возможен только после включения привода шпинделя и автоматического выключателя $ВА2$. Якорь двигателя $ДП$ питается от трехфазного силового магнитного усилителя $МУ$, рабочие обмотки ω_r которого включены через диоды $Д1—Д6$. Угловая скорость двигателя $ДП$ регулируется от 15 до 150 рад/с изменением напряжения, подводимого к якорю, и от 150 до 300 рад/с — ослаблением магнитного потока. Напряжение управления U_y , поступающее на обмотки управления ω_y магнитного усилителя и определяющее угловую скорость двигателя в рабочем диапазоне, равно алгебраической сумме напряжений: задающего U_z , снимаемого с регулятора — потенциометра $РС$; сигнала отрицательной обратной связи по напряжению $U_{o,n}$ на зажимах якоря и сигнала положительной обратной связи по току $U_{п,т}$, получаемого с помощью трансформатора тока $ТТ$ и выпрямителя $Вп2$.

Ограничение тока якорной цепи при пуске двигателя подачи выполняется с помощью реле $РМ$. При включении контактора $КП$ по обмоткам управления ω_y проходит ток I_y , больший номинального тока управления $I_{y,ном}$, магнитный усилитель «открывается» и пусковой ток двигателя возрастает до $I_{я} \approx 2I_{y,ном}$; реле $РМ$ срабатывает и размыкающим контактом отключает задающее напряжение с обмоток ω_y . При этом напряжение на выходе магнитного усилителя снижается, а ток якоря уменьшается до значения, при котором реле $РМ$ отключается и замыкает свой контакт. Обмотка ω_y вновь подключается к напряжению U_z , ток якоря двигателя возрастает, $РМ$ снова срабатывает и т. д. Таким образом,

реле *РМ* будет работать в вибрационном режиме до окончания пуска двигателя *ДП*, когда $I_{я}=I_c$.

Для выполнения быстрого установочного перемещения стола или шпиндельной бабки станка необходимо нажать кнопку *Кн «Быстро»*. При этом включается реле *РП2*, и на обмотки ω , независимо от положения движка регулятора *РС* подается максимальное напряжение $U_{з,мах}$. Двигатель разгоняется, и при угловой скорости, близкой к номинальной, включается реле *РН1*, в цепь обмотки возбуждения вводится добавочное сопротивление, ток возбуждения уменьшается, и двигатель доразгоняется до максимальной скорости (300 рад/с). Быстрое перемещение длится столько времени, сколько будет находиться в нажатом состоянии кнопка *Кн «Быстро»*.

Кроме главного двигателя *ДШ* и двигателя подачи *ДП* станок имеет еще два небольших короткозамкнутых двигателя (на схеме не показаны) для насосов смазки и охлаждения, а также узел схемы, посредством которого осуществляются переключения электромагнитных муфт механизмов подачи стола и шпиндельной бабки. Защита двигателей шпинделя, насосов смазки и охлаждения от длительных перегрузок осуществляется тепловым реле — соответственно *РТ1*, *РТС*, *РТО*.

10-5. ОСОБЕННОСТИ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ КОПИРОВАЛЬНО-ФРЕЗЕРНЫХ СТАНКОВ

Копировальные станки применяются для обработки деталей с пространственно-сложными поверхностями (например, пресс-формы, штампы, кулачки для различных станков, автоматов и т. п.). Обработка деталей на копировальных станках производится по заранее заготовленным моделям или шаблонам. Корпус копировального прибора жестко связан со шпиндельной бабкой. В процессе копирования по поверхности модели движется копировальный палец, форма которого должна точно соответствовать режущему инструменту. Перемещения копировального пальца передаются инструменту через промежуточную систему управления. В связи с этим различают два вида копирования: 1) с непосредственным механическим управлением и 2) со следящим управлением [17].

В копировально-фрезерных станках широкое применение нашли системы электрического копирования, которые можно разделить на:

1) системы прерывистого релейного управления с контактным копировально-измерительным прибором (электроконтактной копировальной головкой), который управляет электромагнитными муфтами подач. В качестве двигателей подач используются как асинхронные короткозамкнутые двигатели, так и двигатели постоянного тока. Регулирование скорости по-

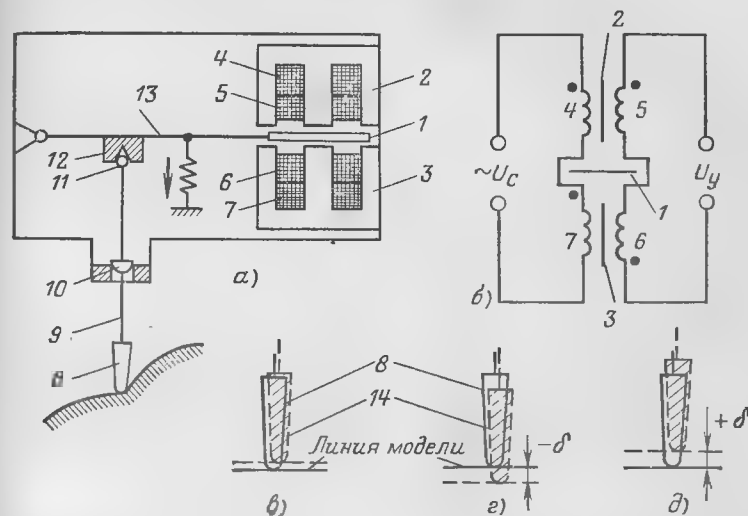


Рис. 10-7. Бесконтактная индуктивная копировальная головка.

дач в первом случае чисто механическое ступенчатое, во втором — комбинированное электромеханическое. Принцип работы такого рода систем и устройство контактной копировальной головки были рассмотрены в § 7-6 для токарно-копировального станка. Электрокопировальные системы прерывистого управления благодаря их простоте и надежности получили большое распространение в копировальных устройствах, устанавливаемых на универсальных фрезерных станках;

2) системы непрерывного управления с бесконтактной индуктивной копировальной головкой и бесступенчатым регулированием скорости подач. В станках с таким управлением приводы подач выполнены от двигателей постоянного тока, включенных по системе ЭМУ-Д или ТП-Д.

На рис. 10-7,а схематически показано устройство бесконтактной копировальной головки (КГ). Копировальный палец 8 расположен на шпинделе 9, который связан с корпусом головки шаровым шарниром 10. Шпиндель через шарик 11 упирается во втулку 12, закрепленную на рычаге 13. На конце рычага установлен якорь 1, помещенный между сердечниками 2 и 3 дифференциального трансформатора. Магнитная система этого трансформатора состоит из двух Ш-образных сердечников, на средних стержнях которых уложены обмотки. Первичные обмотки 4 и 7 соединены последовательно-согласно и включены в сеть переменного тока (рис. 10-7,б). Вторичные обмотки 5 и 6 включены последовательно-встречно, и возникающие в них ЭДС направлены в противоположные стороны.

Когда нажатие на палец 8 такое, что якорь 1 находится в среднем положении, магнитные потоки в сердечниках 2 и 3 будут одинаковы, ЭДС вторичных обмоток равны, и напряжение на выходе отсутствует. Это состояние КГ отвечает случаю точного согласования положений копировального пальца 8 и фрезы 14 (рис. 10-7в).

При увеличении нажатия на палец, т.е. при появлении рассогласования $-\delta$ (рис. 10-7,г), якорь 1 перемещается к сердечнику 2, поток в котором возрастает, а поток в сердечнике 3 уменьшается. При ослаблении нажатия на палец, т.е. при рассогласовании $+\delta$ (рис. 10-7,д), якорь 1 смещается ближе к сердечнику 3, что вызывает увеличение потока в этом сердечнике и уменьшение потока в сердечнике 2. Таким образом, на выходе трансформатора появляется напряжение U_y , амплитуда и фаза которого зависят от значения и знака рассогласования δ .

К станкам с непрерывным управлением относится копировально-фрезерный полуавтомат модели 6441Б (см. рис. 10-4), на котором производится обработка как объемных поверхностей, так и плоских контуров. Копирование выполняется по моделям или шаблонам, выполненным в масштабе 1:1 из металла, дерева, гипса и т.п.

Принципиальная электрическая схема станка приведена на рис. 10-8. Шпиндель станка приводится во вращение от двухскоростного асинхронного двигателя ДШ мощностью 2,6 кВт при 1430/2850 об/мин. Частота вращения шпинделя регулируется ступенчато электромеханическим путем в диапазоне от 75 до 850 об/мин. Привод

всех трех подач станка (горизонтальной, вертикальной и поперечной) выполнен от отдельных регулируемых двигателей постоянного тока (соответственно ДГП, ДВП и ДПП) по системе ЭМУ-Д. Мощность каждого двигателя подачи равна 0,37 кВт при 1000 об/мин. В качестве генераторов для питания двигателей подач используются

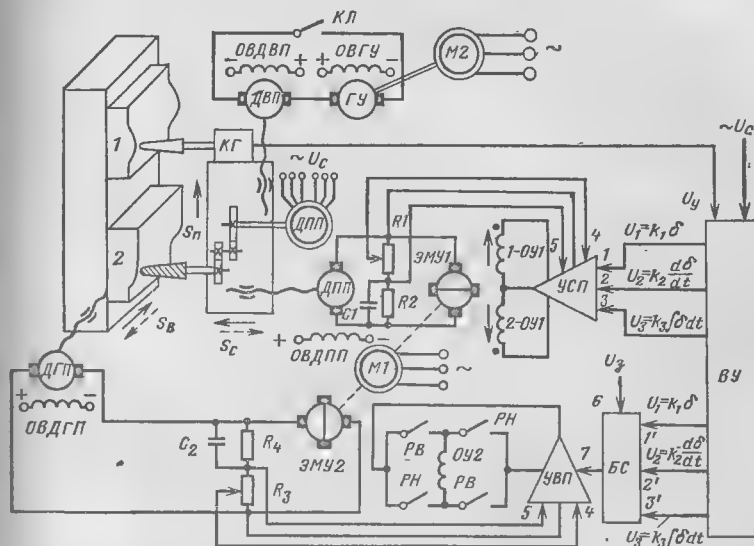


Рис. 10-8. Схема управления электроприводами копировально-фрезерного станка 644Б.

два электромашинных усилителя поперечного поля ЭМУ1 и ЭМУ2 (0,5 кВт, 110 В) и генератор постоянного тока ГУ. Скорости подач регулируются плавно в диапазоне от 25 до 315 мм/мин.

Рассмотрим работу системы управления при обработке объемных изделий горизонтальными строчками. Ведущую подачу s_b осуществляет двигатель ДГП, подключенный к электромашинному усилителю ЭМУ2. Следящая подача s_c обеспечивается двигателем ДПП, который подключен к электромашинному усилителю ЭМУ1, периодическая подача s_n — двигателем ДВП, получающим питание от генератора ГУ.

Напряжение U_y с выхода трансформатора КГ (см. рис. 10-7,б) подается на входной электронный усилитель

ВУ системы следящего управления двигателями подачи. Усилитель ВУ преобразует напряжение U_y в три напряжения: $U_1=k_1\delta$ — пропорциональное значению и знаку рассогласования; $U_2=k_2d\delta/dt$ — пропорциональное скорости изменения рассогласования; $U_3=k_3 \int \delta dt$ — пропорциональное интегралу по времени от рассогласования. Эти напряжения по каналам 1—3 поступают на вход усилителя следящей подачи УСП.

В усилителе УСП все три напряжения суммируются и результирующее напряжение подается на обмотки управления 1-ОУ1 и 2-ОУ1 электромашиного усилителя ЭМУ1, которые включены встречно. Электродвижущая сила ЭМУ1 будет изменяться по значению и по направлению в зависимости от значения и знака выходного напряжения УСП, и двигатель ДПП будет перемещать шпиндельную бабку к изделию или от него, устраняя рассогласование.

Для управления ведущей подачей используются те же три напряжения U_1 , U_2 и U_3 , что и для следящей подачи. С выхода усилителя ВУ они по каналам 1'—3' поступают в блок связи БС. В этот блок, кроме того, по каналу 6 подается напряжение U_3 , которое определяет заданную максимальную скорость подачи, выбираемую по технологическим условиям обработки. От блока БС результирующее напряжение по каналу 7 подводится к электронному усилителю ведущей подачи УВП, выход которого через реверсивный контактный мостик подключен к обмотке управления ОУ2 электромашиного усилителя ЭМУ2. В процессе копирования в пределах горизонтальной строчки угловая скорость двигателя ДГП, а следовательно, и подача s_y меняются только по значению, сохраняя неизменным свое направление.

Узлы управления следящей и ведущей подачами работают взаимосвязанно. При изменении скорости следящей подачи скорость ведущей подачи изменяется так, чтобы результирующая скорость движения вдоль профиля сохранялась неизменной и равной заданной.

Использование в системе кроме управления в функции рассогласования еще управления по скорости изменения рассогласования (дифференциального управления) и управления в функции времени рассогласования (интегрального управления) позволяет системе быстрее реагировать на всякое изменение наклона профиля шаблона. Такой способ управления значительно повышает точность и качество обработки.

В конце прохода горизонтальной строчки от упора срабатывает путевой переключатель (на схеме не показан), отключается двигатель ведущей подачи ДГП посредством отключения реле РВ (РН), включается двигатель вертикальной подачи ДВП (замыкается контакт КЛ), и совершается периодическая подача s_y . Ее значение устанавливается специальным реле времени, контролирующим продолжительность включения двигателя ДВП. После отработки периодической подачи опять включается посредством реле РН (РВ) — ведущая подача, но уже в противоположном направлении и т. д.

Для работы вертикальными строчками с периодической горизонтальной подачей в схеме управления станка предварительно производятся соответствующие переключения: двигатель ДВП присоединяется к электромашиному усилителю ЭМУ2, а двигатель ДГП — к генератору ГУ. При отработке плоских контуров по шаблону следящая и ведущая подачи осуществляются двигателями ДГП и ДВП, подключаемыми к электромашиным усилителям.

Глава одиннадцатая

ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ ШЛИФОВАЛЬНЫХ СТАНКОВ

11-1. НАЗНАЧЕНИЕ И УСТРОЙСТВО ШЛИФОВАЛЬНЫХ СТАНКОВ

Шлифовальные станки применяются для чистовой обработки деталей шлифовальными абразивными кругами, снимающими с поверхности детали тонкий слой металла. На шлифовальных станках можно обрабатывать плоские, цилиндрические наружные и внутренние поверхности, шлифовать зубья шестерен, затачивать различные инструменты и т. д. Шлифовальные станки получили широкое распространение во всех отраслях промышленности в качестве станков общего и специального назначения.

Станки общего назначения делятся на следующие основные типы: а) круглошлифовальные; б) внутришлифовальные; в) плоскошлифовальные; г) бесцентровые кругло- и внутришлифовальные. Специализированные шлифовальные станки предназначаются для получения

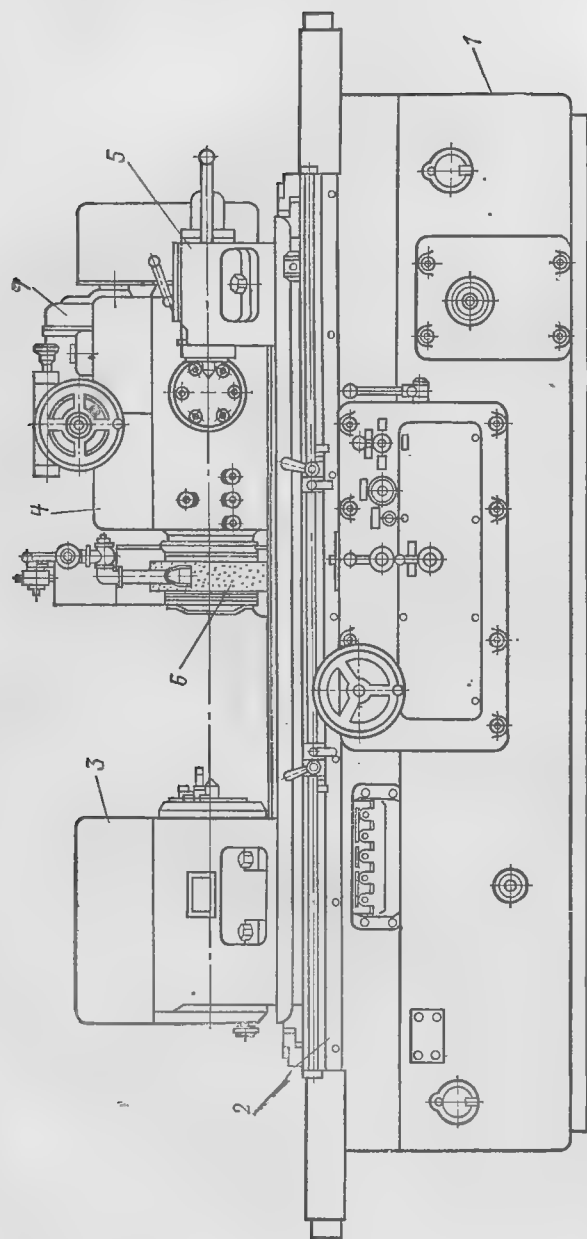


Рис. 11-1. Общий вид круглошлифовального станка модели 3151.

весьма чистых (гладких) поверхностей — доводочные, отделочные станки и другие, либо для выполнения определенных операций над различными деталями — резьбошлифовальные, шлицешлифовальные и др.

С внедрением в практику новых методов получения заготовок с малыми припусками (ковка в штампах, литье в формы под давлением и др.) появилась возможность обрабатывать такие заготовки сразу шлифованием, минуя обработку на других металлорежущих станках. Поэтому шлифовальные станки со временем могут оказаться преобладающими среди других металлорежущих станков.

Круглошлифовальные станки предназначены для шлифования цилиндрических поверхностей тел вращения, пологих конических и торцевых поверхностей. В электромашиностроении на таких станках шлифуют валы электродвигателей. На рис. 11-1 изображен круглошлифовальный станок, основными узлами которого являются: станина 1; рабочий стол 2 с размещенными на нем передней 3 и задней 5 бабками; шлифовальная бабка 4, на шпинделе которой закрепляется шлифовальный круг 6. Обрабатываемая деталь устанавливается в центрах задней и передней бабки и закрепляется в патроне передней бабки. Патрон получает вращение от электродвигателя через плоскоременную передачу. Шлифовальный круг приводится во вращение от главного двигателя 7 через клиноременную передачу.

На рис. 11-2,а изображена схема процесса наружного шлифования на круглошлифовальном станке. Шлифовальный круг 2 и обрабатываемая деталь 1 вращаются в разные стороны. Вращение детали создает круговую подачу $v_{\text{в}}$, вращение шлифовального круга — главное движение — скорость резания $v_{\text{к}}$. Для обработки детали по длине, если она превышает ширину круга, стол станка с установленной на нем деталью совершает возвратно-поступательное движение (создает продольную подачу s_1). Шлифовальный круг совершает поперечное периодическое перемещение относительно детали — поперечную подачу s_2 (подачу на глубину резания).

В тяжелых круглошлифовальных станках при больших размерах обрабатываемых деталей продольное перемещение совершает шлифовальная бабка с кругом, а стол с деталью, закрепленной в передней и задней бабках, остается неподвижным.

Внутришлифовальные станки предназначены для шлифования внутренних цилиндрических, конических и других поверхностей тел вращения (рис. 11-2, б). Обычно у таких станков обрабатываемая деталь вращается вокруг оси шлифуемого отверстия, осуществляя круговую подачу v_n . Шлифовальный круг вращается вокруг своей оси,

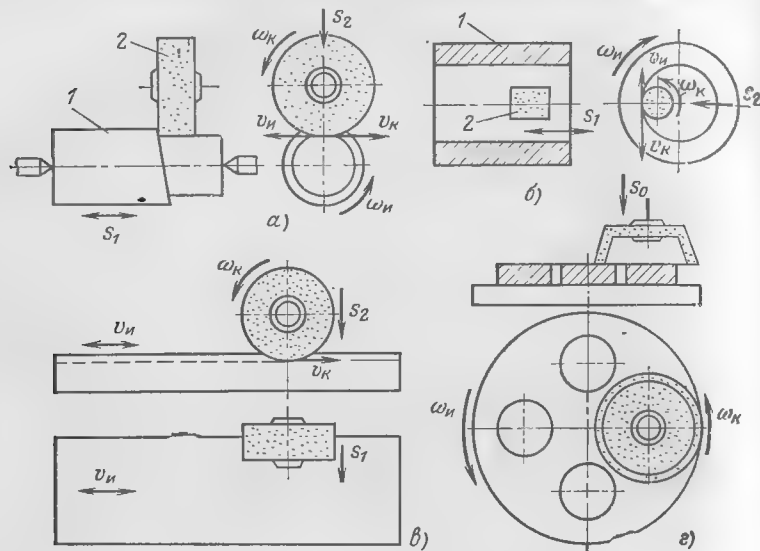


Рис. 11-2. Схемы движений в шлифовальных станках.

создавая скорость резания v_k . Продольная подача s_1 получается за счет возвратно-поступательного движения шлифовального круга или детали. Поперечная подача s_2 производится путем периодического поперечного перемещения шлифовальной бабки в конце каждого прохода поверхности обрабатываемой детали.

Плоскошлифовальные станки предназначены для обработки наружных поверхностей плоских деталей. По форме стола, на котором закрепляются шлифуемые изделия, эти станки подразделяются на станки с прямоугольным и круглым столами, а по расположению шлифовального круга — на станки с горизонтальным и вертикальным шпинделем.

На рис. 11-3 показан общий вид плоскошлифовального станка с прямоугольным столом. Его основные узлы

станина 1, стойка 2, шлифовальная бабка 3, рабочий стол 4. Дисковый абразивный круг 5 укрепляется на конце шпинделя шлифовальной бабки. Шлифуемая деталь в зависимости от ее формы, размера и материала закрепляется непосредственно на столе станка, либо на специальной магнитной плите, устанавливаемой на столе.

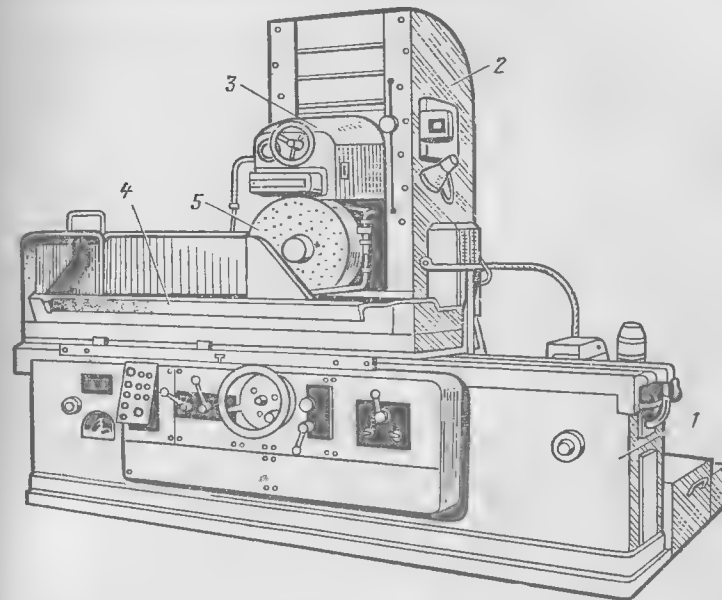


Рис. 11-3. Общий вид плоскошлифовального станка с прямоугольным столом.

В плоскошлифовальных станках, кроме главного движения — вращения круга, различают следующие виды движений:

а) В станках с прямоугольным столом и при обработке деталей периферией круга (см. рис. 11-2, в) стол с деталью совершает возвратно-поступательное движение подачи v_n , шлифовальная бабка (или стол) — периодическое перемещение s_1 на величину, несколько меньшую ширины круга, после каждого хода стола, а круг получает вертикальное перемещение — подачу s_2 на глубину резания — после очередной обработки всей плоскости шлифования.

б) В станках с круглым столом при обработке деталей торцом круга (см. рис. 11-2, з) столу сообщается движение круговой подачи ω_n , а кругу — вертикальное периодическое перемещение s_0 .

11-2. ТИПЫ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ ШЛИФОВАЛЬНЫХ СТАНКОВ

Шлифовальные станки относятся к точным станкам, поэтому конструкции их отдельных узлов и кинематические передачи должны быть максимально просты, что достигается широким применением индивидуального привода. В шлифовальных станках различают следующие виды электроприводов: главный привод (вращение шлифовального круга), привод вращения изделия, привод подачи, вспомогательные приводы и специальные электромеханические устройства.

В шлифовальных станках малых и средних размеров при мощности главного привода до 10 кВт вращение круга обычно осуществляется от односкоростных асинхронных короткозамкнутых двигателей. На круглошлифовальных станках при значительных размерах шлифовальных кругов (диаметр до 1000 мм, ширина до 700 мм), применяют понижающие ременные передачи от двигателя к шпинделю и электрическое торможение привода для уменьшения времени остановки.

На внутришлифовальных станках обработка ведется кругами небольших размеров, поэтому в них применяют ускоряющие передачи от двигателя к шпинделю или используют специальные высокоскоростные асинхронные двигатели, встраиваемые в корпус шлифовальной бабки. Устройство, в котором короткозамкнутый двигатель и шлифовальный шпиндель конструктивно объединены в один узел, называют электрошпинделем. Частоты вращения таких двигателей 24 000—48 000 об/мин, а при малых диаметрах шлифовальных кругов (до 5—7 мм) доходят до 150 000—250 000 об/мин.

Статор двигателя электрошпинделя (рис. 11-4) набирается из листов электротехнической стали, в его пазах располагается двухполюсная обмотка, а ротор выполняется типа беличьей клетки либо в виде массивного стального цилиндра. Двигатели электрошпинделей питаются от специальных индукционных генераторов повышенной частоты типа ГИС ($f_r = 300 \div 2000$ Гц) или от статических преобразователей частоты на тиристорах.

При работе шлифовальный круг постепенно изнашивается и диаметр его D_k уменьшается, что вызывает уменьшения скорости резания, так как $v_k = \pi D_k n_k / (60 \times 1000)$, м/с. Для получения хорошего качества шлифуемой поверхности и повышения производительности станка необходимо поддерживать скорость резания при из-

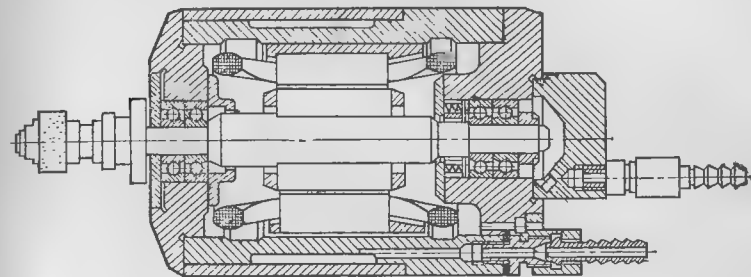


Рис. 11-4. Электрошпиндель типа Ш-24/2,2 горизонтального исполнения.

носе круга постоянной. С этой целью в крупных шлифовальных станках устанавливают двигатели постоянного тока с независимым возбуждением, угловая скорость которых регулируется изменением потока возбуждения в диапазоне $(2 \div 3) : 1$. Питание таких двигателей осуществляется от полупроводниковых выпрямителей.

Для вращения обрабатываемого изделия на внутришлифовальных станках применяют асинхронные короткозамкнутые двигатели одно- или многоскоростные. На тяжелых круглошлифовальных станках привод вращения изделия выполняется по системе Г—Д с диапазоном регулирования скорости от $(8 \div 10) : 1$ до $(20 \div 25) : 1$ и более. Получили распространение приводы с тиристорными преобразователями переменного тока в постоянный, а также приводы с магнитными усилителями типа ПМУ на мощности 0,1—8 кВт. Особенностью нагрузки привода вращения изделия таких станков является большой момент сопротивления при пуске (до $2M_{ном}$).

Подача (возвратно-поступательное движение стола, продольное и поперечное перемещение шлифовальной бабки) на шлифовальных станках небольших размеров производится от гидропривода. Приводы подач тяжелых плоско- и круглошлифовальных станков выполняются от

двигателя постоянного тока по системе ЭМУ—Д, ПМУ—Д или ТП—Д с диапазоном регулирования до $(40 \div 50):1$. Иногда для приводов продольных подач используют многоскоростные асинхронные двигатели с многоступенчатой коробкой подач. Однако такой привод применяют редко, так как он не дает возможности плавного регулирования и не обеспечивает постоянства заданной скорости (допустимая погрешность до 5%). Для вращения круглого стола плоскошлифовальных станков часто применяют асинхронные короткозамкнутые двигатели.

Для вспомогательных приводов шлифовальных станков (приводы насосов смазки и охлаждения, насосов гидропривода, быстрого перемещения шлифовальной бабки и др.) также применяются асинхронные короткозамкнутые двигатели.

11-3. РАСЧЕТ МОЩНОСТИ ДВИГАТЕЛЯ ГЛАВНОГО ПРИВОДА ШЛИФОВАЛЬНЫХ СТАНКОВ

Во всех шлифовальных станках главным движением является вращение шлифовального круга. Скорость резания v_k определяется окружной скоростью круга и обычно лежит в пределах от 30 до 50 м/с, но в некоторых случаях достигает 75 м/с. Толщина снимаемого слоя металла при таких скоростях резания незначительна.

Мощность резания, кВт, определяется по формулам:

при шлифовании периферией круга

$$P_z = C_p v_n^x t^x s_1^y d^q, \quad (11-1)$$

при шлифовании торцом круга

$$P_z = C_p v_n^x t^x B^z, \quad (11-2)$$

где C_p — коэффициент, характеризующий материал изделия и твердость круга; v_n — окружная скорость детали или скорость движения стола, м/мин; t — глубина шлифования, мм; s_1 — подача в направлении оси шлифовального круга (продольная или поперечная) в миллиметрах на один оборот детали или в долях ширины круга на один двойной ход стола (см. рис. 11-2); d — диаметр шлифования, мм; B — ширина шлифования, мм.

Значения коэффициентов и показателей степени в формулах (11-1) и (11-2) приводятся в технологических справочниках. Скорость v_n , глубину шлифования t и продольную подачу s_1 выбирают в зависимости от вида шлифования.

После определения мощности резания при черновом P_{z1} и чистовом P_{z2} шлифования и расчета соответствующего машинного времени t_{m1} и t_{m2} для обоих видов обработки подсчитывают вспомогательное время Σt_0 и с учетом потерь в передачах строят нагрузочную диаграмму шлифовального станка. Затем определяют эквивалентную мощность двигателя по формуле, кВт:

$$P_{\Sigma, c} = \sqrt{\frac{P_1^2 t_{m1} + P_2^2 t_{m2} + P_0^2 \Sigma t_0}{t_{m1} + t_{m2} + \Sigma t_0}}. \quad (11-3)$$

Номинальную мощность двигателя, работающего в продолжительном режиме, выбирают по каталогу из условия $P_{ном} \geq P_{\Sigma, c}$ на частоту вращения $n_{ном} \approx 60 v_k i_n / \pi D_k$.

11-4. СПЕЦИАЛЬНОЕ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ ШЛИФОВАЛЬНЫХ СТАНКОВ

На плоскошлифовальных станках для быстрого и надежного закрепления обрабатываемых деталей из стали и чугуна нашли широкое применение электромагнитные плиты, и вращающиеся электромагнитные столы. Удержание деталей на таких плитах и столах в процессе обработки производится силами магнитного поля, создаваемого чаще всего с помощью электромагнитов. Удельное тяговое усилие у современных электромагнитных плит составляет обычно 20—130 Н/см².

На рис. 11-5 схематически показано устройство электромагнитной плиты для плоскошлифовального станка с прямоугольным столом. На плите 1 из малоуглеродистой стали располагаются сердечники 2 с надетыми на них катушками 3, которые соединяются последовательно и подключаются к источнику постоянного тока. Плита 1 помещается в коробчатый корпус 4 из диамагнитного материала. Этот корпус закрепляется на столе станка. Сверху в корпус вставляется вторая стальная плита 5, имеющая поперечные вырезы с немагнитными (напри-

мер, латунными) прокладками 6. Если на такую плиту установить деталь 7 и пропустить ток через катушки, то возникающее магнитное поле будет надежно притягивать шлифуемые изделия к плите. Перед снятием обработанных деталей с плиты катушки электромагнита отключаются от источника питания и замыкаются на

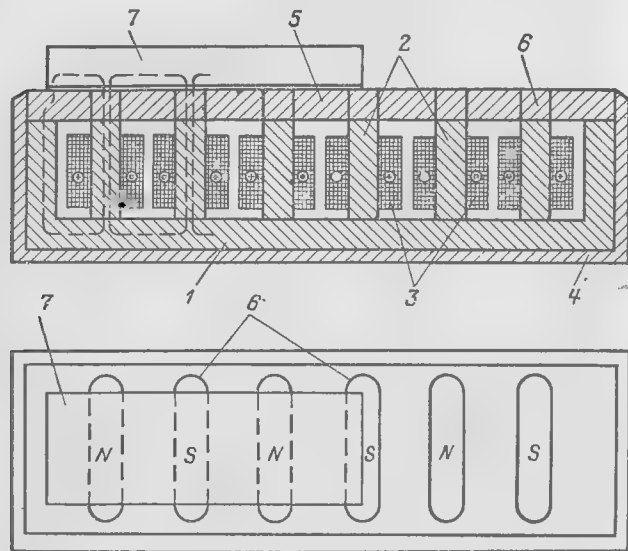


Рис. 11-5. Электромагнитная плита для плоскошлифовального станка.

разрядное сопротивление, магнитное поле исчезает, и детали освобождаются.

Плоскошлифовальные станки с круглым столом обычно выполняются в виде полуавтоматов или автоматов с непрерывной обработкой изделий, закрепляемых на вращающемся электромагнитном столе. На рис. 11-6 показана схема устройства такого стола с непрерывной подачей и снятием изделий. Во вращающейся части 2 электромагнитного стола, выполненной из магнито-мягкой стали, сделаны прорезы 3 в радиальных направлениях и выточки 4 по окружности, заполненные прокладками из латуни. В неподвижной части 1 стола устанавливается семь электромагнитов 6. Шесть из них расположены в зоне шлифования для закрепления обрабатываемых изделий 8, проходящих под кругом 5, а

седьмой размещен в зоне съема деталей и создает магнитный поток противоположного направления. Обработанные детали размагничиваются и легко отделяются от стола при помощи съемных щитков 7.

По условиям техники безопасности, а также во избежание порчи изделий в схемах управления станками с электромагнитным столом должны быть предусмотрены

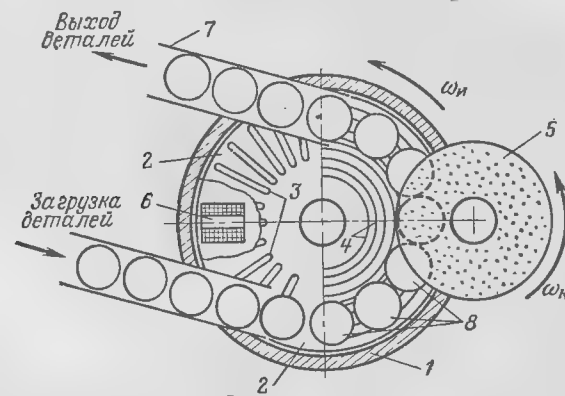


Рис. 11-6. Поворотный электромагнитный стол с непрерывной загрузкой деталей.

блокировки, обеспечивающие отключение и быструю остановку шлифовального круга при обрыве питания катушек электромагнитов. Электромагнитные плиты питаются постоянным током напряжением 24, 48, 110 и 220 В от полупроводниковых выпрямителей. Мощность, потребляемая катушками плиты, составляет обычно 100—300 Вт.

Детали, снятые с электромагнитных плит или столов, сохраняют остаточный магнетизм, что нежелательно. Для размагничивания таких деталей применяют специальные устройства — демагнитизаторы. На рис. 11-7, а схематически показано устройство демагнитизатора для одиночных деталей. Магнитопровод 1 набирается из листовой стали. Полусные башмаки 2 выполняются из магнито-мягкой стали и разделяются немагнитной прокладкой 3. Катушки 4 включаются в сеть переменного тока 50 Гц. Деталь кладется на полюсные башмаки, несколько раз перемещается взад и

вперед и под действием переменного магнитного поля размагничивается.

В плоскошлифовальных полуавтоматах, на которых обрабатываются детали массового производства (например, кольца шарикоподшипников), применяется демагнитизатор, схема которого дана на рис. 11-7, б. По наклонному лотку 1, выполненному из немагнитного мате-

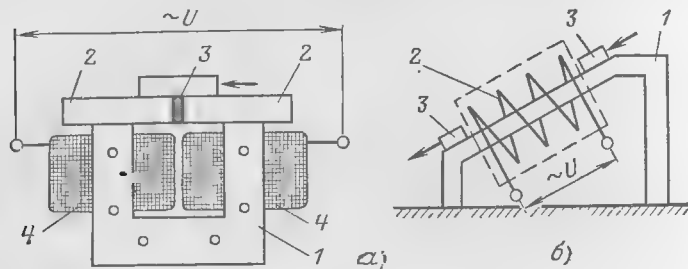


Рис. 11-7. Схемы демагнитизаторов.
а — для одиночных деталей; б — с непрерывной подачей деталей.

риала, детали 3 перемещаются сверху вниз внутри катушки 2, питаемой переменным током промышленной частоты и размагничиваются.

На прецизионных шлифовальных станках используют закрепляющие плиты с постоянными магнитами (магнитные плиты). Они не требуют источника питания, имеют продолжительный срок службы, более надежны в эксплуатации, так как на них исключается возможность срыва деталей с поверхности плиты в случае прекращения электропитания. Плита имеет корпус, внутри которого расположен пакет, набранный из постоянных магнитов, изготовленных из специальных сплавов и имеющих форму пластин. Магниты отделены прокладками из немагнитного материала. Пакет стянут латунными болтами. Деталь из ферромагнитного материала, положенная на плиту, притягивается находящимися под ней магнитами. Для съема детали с плиты пакет сдвигают с помощью эксцентрика (вручную). При новом положении полюсов их магнитные потоки замыкаются, минуя деталь, и ее можно легко снять. Средняя сила тяги плит составляет 60—70 Н/см².

Для повышения производительности и обеспечения высокой точности современные шлифовальные станки

всех типов снабжаются устройствами активного контроля — измерительными устройствами для автоматического контроля размеров шлифуемых деталей в процессе их обработки и подачи соответствующих команд в систему управления станком. По достижении требуемого размера детали станок автоматически отключается. Рабочий не останавливает станок

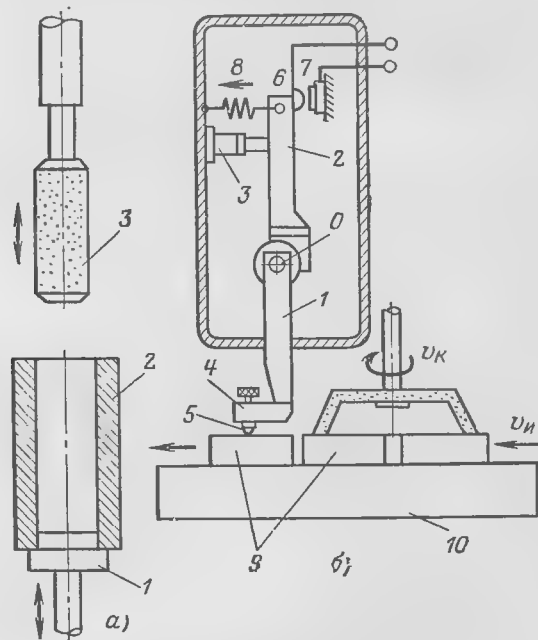


Рис. 11-8. Механические устройства для контроля размеров при шлифовании.

для проверки размеров обрабатываемого изделия. Он только снимает готовую деталь, устанавливает новую заготовку и пускает станок. В этом случае рабочий может следить за работой нескольких станков, что дает увеличение производительности труда, уменьшает возможность брака и облегчает обслуживание станков.

Простейшим измерительным устройством для автоматического контроля размеров деталей в процессе обработки на внутришлифовальных станках является про-

бочный калибр 1 (рис. 11-8, а), который периодически подводится к обрабатываемой детали 2 (после каждого двойного хода шлифовального круга 3). Когда диаметр шлифуемого изделия достигнет заданного значения, калибр войдет в отверстие. При этом замыкаются контакты электрической цепи и подается команда на отвод шлифовальной бабки в исходное положение и остановку шпинделя станка. Обычно калибр состоит из двух пробок разного диаметра: меньшая входит в шлифуемое отверстие после окончания черновой обработки, а большая — после чистовой обработки. Это позволяет осуществлять автоматический переход с чернового шлифования на чистовое и отключать привод при достижении заданного размера.

На плоскошлифовальных станках с непрерывной загрузкой деталей применяются электроконтактные измерительные устройства для автоматической подладки станка (рис. 11-8, б). Обработанные детали 9, закрепленные на магнитном столе станка 10, после выхода из-под шлифовального круга измеряются по высоте. Если вследствие износа круга высота изделия оказалась больше допустимой, детали 9 задевают за наконечник 5, закрепленный в лапе 4. При этом рычаги 1 и 2 проворачиваются вокруг оси 0, замыкаются контакты 6 и 7, и включается электромагнит подачи шлифовальной бабки. Круг опускается и дополнительно обработанные после этого детали не будут задевать наконечник 5. Пружина 8 прижмет рычаг 2 к упору 3, контакты 6 и 7 разомкнутся и отключат электромагнит подачи шлифовальной бабки.

Электроконтактные датчики (измерительные головки) широко применяются на других шлифовальных станках для контроля размеров деталей. На рис. 11-9, а схематически показана конструкция одной из таких измерительных головок. Внутри корпуса 1, устанавливаемого на шлифовальной бабке станка, смонтирован шток 2, который может перемещаться вертикально во втулках 5. На штоке закреплен хомутик 10. Шток заканчивается наконечником 3 с алмазным или твердосплавным зерном. Во время обработки изделия алмазное зерно опирается на шлифуемую поверхность и прижимается к ней пружиной 6. При уменьшении размера детали вследствие снятия припуска шток опускается вниз, и хомутик 10 нажимает на упор контактного

рычага 7, который связан с корпусом (эта часть корпуса изготовлена из электроизоляционного материала) плоской пружиной 4 и витой пружиной 11. Верхний конец контактного рычага отклоняется вправо и отходит от контактного винта 8. При дальнейшем уменьшении размера детали нижний конец рычага замыкается с контактным винтом 9. Последовательное срабатывание

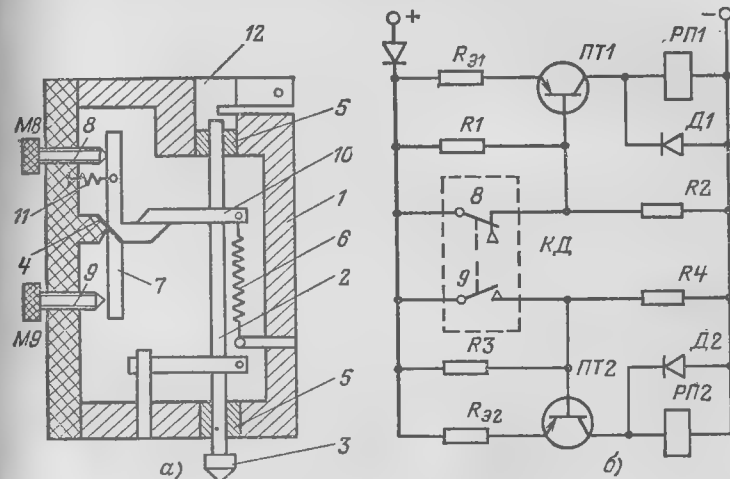


Рис. 11-9. Электроконтактное измерительное устройство.

контактов позволяет осуществить автоматический переход с чернового шлифования на чистовое и последующий отвод круга. При установке новой детали шток поднимается и рычаг 7 под действием пружины 11 прижимается к верхнему контактному винту 8. Настройка контактных винтов 8 и 9 производится маховичками М8 и М9, на которых имеются шкалы с делениями. Для визуального наблюдения за размером обрабатываемой детали в отверстие 12 можно установить индикатор, на который будет воздействовать верхний конец штока 2.

Для того чтобы контакты датчика не подгорали, они включены в базовые цепи полупроводникового переключателя, который управляет работой промежуточных реле РП1 и РП2 (рис. 11-9, б). Когда контакт 8 измерительного устройства замкнут, то транзистор ПТ1 закрыт, так как на его базу подается положительный

потенциал. Транзистор $ПТ2$, на базу которого через делитель напряжения на резисторах $R3—R4$ подается отрицательный потенциал, открыт, и реле $РП2$ включено. По окончании чернового шлифования контакт 8 датчика $КД$ размыкается, транзистор $ПТ1$ открывается и реле $РП1$ срабатывает, что вызывает переход с черновой подачи на чистовую. После окончания чистового шлифования замыкается контакт 9, транзистор $ПТ2$ закрывается, реле $РП2$ отключается и в схему управления поступает команда на отвод круга. Диоды $Д1$ и $Д2$ служат для защиты транзисторов $ПТ1$ и $ПТ2$ от импульсов напряжения, возникающих при отключении катушек реле $РП1$ и $РП2$.

11-5. УПРАВЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОШПИНДЕЛЯМИ С ПОМОЩЬЮ СТАТИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ЧАСТОТЫ

Наиболее целесообразным способом регулирования угловой скорости асинхронного двигателя является частотное управление, осуществляемое изменением частоты f_1 и напряжения U_1 , питающего двигатель. Этот способ позволяет обеспечить требуемый для внутришлифовальных станков диапазон плавного регулирования частоты вращения шпинделя до $(2÷4):1$ при сравнительно малых потерях в двигателе. По конструктивным соображениям современные электрошпиндели (ЭШ) допускают регулирование частоты вращения только вниз от номинального значения. Для сохранения критического момента, снижающегося при значительном уменьшении частоты f_1 в связи с возрастанием падения напряжения в активном сопротивлении статора двигателя, нужно по мере снижения частоты уменьшать напряжение U_1 в меньшей степени, чем снизилась частота.

Для компенсации износа круга на внутришлифовальных станках требуется регулирование угловой скорости при неизменной мощности. С увеличением диаметра шлифуемых отверстий увеличивается и $D_{шл,кр}$, и для сохранения скорости резания приходится снижать частоту вращения ЭШ, а требуемый момент при этом возрастает. Все это вынуждает завышать установленную мощность двигателя. Выбор мощности ЭШ при регулируемом приводе определяется мощностью шлифования $P_{шл}$ и диапазоном регулирования частоты вращения

$D = n_{ном}/n_{min}$. Номинальная мощность ЭШ для продолжительного режима будет равна

$$P_{эш, ном} = P_{шл} D. \quad (11-4)$$

Мощность ЭШ для нерегулируемого привода выбирают по режиму черновой обработки, который характеризуется наибольшими усилиями резания. При этом возможна кратковременная перегрузка ЭШ, вызванная

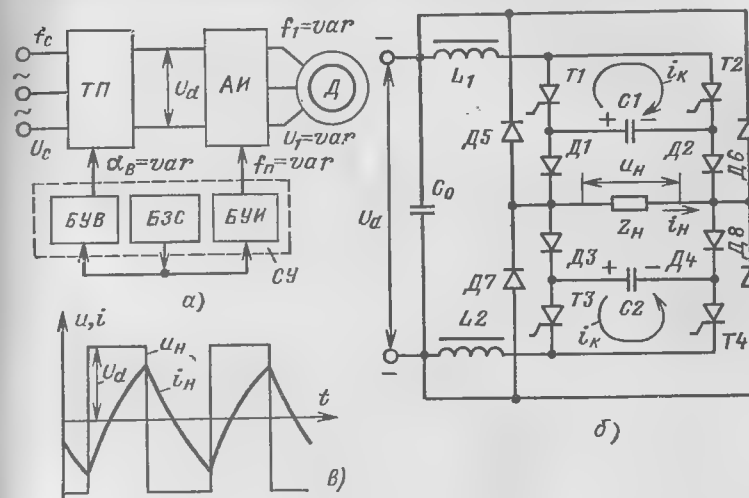


Рис. 11-10. Асинхронный регулируемый электропривод с вентильным преобразователем частоты.

a — структурная схема; $б$ — принципиальная схема однофазного автономного инвертора; $в$ — диаграмма изменения тока и напряжения в нагрузке.

изменением мощности $P_{шл}$ на 20—30% из-за колебаний припуска у различных деталей на черновую обработку.

Развитие силовой полупроводниковой техники привело к созданию статических преобразователей частоты (СПЧ), которые позволяют получать требуемое соотношение между напряжением и частотой питания ЭШ. Наиболее рациональным типом СПЧ для управления высокоскоростными асинхронными двигателями является тиристорный преобразователь частоты с промежуточным звеном постоянного тока. На рис. 11-10, a приведена структурная схема асинхронного регулируемого электропривода с вентильным преобразователем частоты. Преобразователь состоит из трех основных узлов:

тиристорного преобразователя *ТП*, осуществляющего преобразование переменного тока с напряжением U_c и частотой f_c в постоянный ток при регулируемом напряжении $U_a = \text{var}$; автономного инвертора *АИ*, преобразующего напряжение U_a в трехфазное переменное напряжение U_1 регулируемой частоты f_1 ; схемы управления *СУ*, состоящей из блоков управления выпрямителем *БУВ* и инвертором *БУИ*, и блока задания частоты вращения двигателя *БЗС*.

Рассмотрим принцип действия *АИ* на примере однофазного инвертора, схема которого представлена на рис. 11-10, б. Тиристоры $T1-T4$ служат ключами, посредством которых сопротивление нагрузки Z_n с разной полярностью подключается к напряжению U_a . Тиристоры включаются схемой управления попарно ($T1, T4$ и $T2, T3$) с требуемой частотой $f_y = \text{var}$. При этом на нагрузке появляется переменное напряжение u_n прямоугольной формы с амплитудой, равной U_a .

Закрывание тиристоров осуществляется посредством коммутирующих конденсаторов $C1, C2$ (процесс закрывания одних тиристоров и открывания других называется коммутацией). Когда включены тиристоры $T1$ и $T4$, то конденсаторы $C1, C2$ заряжаются до напряжения источника с полярностью, указанной на рисунке. При включении тиристоров $T2, T3$ конденсаторы $C1, C2$ разряжаются соответственно через тиристоры $T1, T2$ и $T3, T4$. Ток в тиристорах $T1$ и $T4$ уменьшается, и когда он будет равен нулю, последние закроются, и к нагрузке будет приложено напряжение обратной полярности через открытые тиристоры $T2, T3$.

Таким образом, тиристоры инвертора осуществляют периодическое переключение постоянного напряжения U_a выпрямителя на нагрузку Z_n , к которой принудительно прикладываются импульсы переменного напряжения прямоугольной формы (рис. 11-10, в), основная гармоническая которых составляет выходное напряжение U_1 , поступающее на нагрузку. Частота f_1 этого напряжения равна частоте f_n выходных импульсов, вырабатываемых блоком управления инвертором и подаваемых на управляющие электроды тиристоров $T1, T4$ и $T2, T3$, для открывания их в нужной последовательности.

Диоды $D1-D4$ отделяют коммутирующие конденсаторы $C1, C2$ от нагрузки, не допуская их разряда на нее. Диоды $D5-D8$ образуют так называемый «об-

ратный» мост, через который пропускается реактивный ток нагрузки в те моменты времени, когда знаки тока i_n и напряжения u_n не совпадают. Например, если были открыты тиристоры $T1, T4$ и ток в нагрузке проходил в направлении, показанном на рис. 11-10, б стрелкой, то под действием ЭДС самоиндукции после закрывания $T1, T4$ и открывания $T2, T3$ ток нагрузки сохраняя свое на-

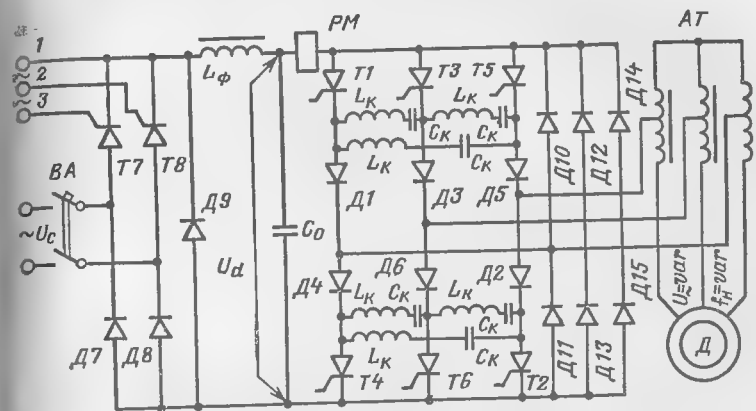


Рис. 11-11. Принципиальная схема силовой части трехфазного преобразователя частоты.

правление, будут проходить по цепи $D6 \rightarrow C0 \rightarrow D7$ до момента перехода его через нуль (рис. 11-10, в). Конденсатор $C0$ является приемником реактивной энергии.

Дроссели $L1$ и $L2$ служат для ограничения тока разряда конденсаторов $C1$ и $C2$ в моменты коммутации тиристоров по цепи через обратный мост, минуя закрываемый тиристор. Так, при выключении тиристоров $T1$ и $T4$ конденсатор $C1$ дополнительно разряжается по цепи $D1 \rightarrow D5 \rightarrow L1 \rightarrow T2$ и по цепи $D1 \rightarrow Z_n \rightarrow D6 \rightarrow L1 \rightarrow T2$, а конденсатор $C2$ — по цепи $T3 \rightarrow L2 \rightarrow D8 \rightarrow D4$ и по цепи $T3 \rightarrow L2 \rightarrow D7 \rightarrow Z_n \rightarrow D4$. Если исключить из схемы дроссели $L1$ и $L2$, то коммутация тиристоров в этом инверторе станет невозможной.

На рис. 11-11 приведена принципиальная схема трехфазного преобразователя частоты. Силовая часть СПЧ состоит из однофазного управляемого выпрямителя, выполненного по двухполупериодной несимметричной мос-

товой схеме с LC-фильтром (L_f и C_0). Напряжение на выходе выпрямителя регулируется изменением угла открывания тиристоров $T7$ и $T8$. Коммутация тиристоров — естественная, т.е. закрытие тиристора происходит в момент прохождения анодного напряжения через нуль. Автономный инвертор состоит: из шести тиристоров $T1—T6$, последовательно с которыми включены шесть силовых диодов $D1—D6$, отделяющих коммутирующие конденсаторы C_k от нагрузки; шести неуправляемых вентилей $D10—D15$, включенных по трехфазной мостовой схеме и образующих мост обратного тока; шести конденсаторов C_k и шести катушек индуктивности L_k , образующих цепи гашения тиристоров, и выходного трехфазного автотрансформатора AT , предназначенного для получения нужного уровня выходного напряжения. Нагрузкой инвертора является асинхронный двигатель D .

Принцип действия данного СПЧ такой же, как и рассмотренного однофазного. Особенностью трехфазного инвертора является то, что одновременно открыты лишь два тиристора ($T1, T6; T1, T2; T2, T3; T3, T4; T4, T5; T5, T1...$). Порядок включения тиристоров соответствует их номерам. Обмотки статора двигателя D целесообразно соединять в треугольник, что позволяет повысить надежность инвертора за счет снижения требуемого выходного напряжения. Гашение открытого тиристора осуществляется током обратного направления, создаваемого колебательным перезарядом конденсаторов C_k через дроссели L_k и проходящего через закрываемый и открываемый тиристоры, и обратным напряжением при прохождении тока перезаряда после закрытия тиристора через отсекающий диод ($D1—D6$) и диод обратного моста, подключенных параллельно закрываемому тиристоры.

Напряжение на выходе СПЧ регулируется изменением напряжения U_a на входе инвертора, а регулирование частоты — изменением частоты управляющих импульсов $U_{им}$, подаваемых на тиристоры от схемы управления инвертором.

Номинальные данные одного из таких СПЧ: максимальная частота выходного напряжения $f_{max}=2500$ Гц, что соответствует частоте вращения $n_0=150\,000$ об/мин, двухполюсного ЭШ. Напряжение на выходе СПЧ, соответствующее f_{max} , равно $U_{max}=220/127$ В. Диапазон

регулирования скорости $D \approx 3:1$ (150 000—48 000 об/мин), номинальная выходная мощность преобразователя 3 кВт·А.

В тех случаях, когда не предъявляется высоких требований к жесткости механических характеристик, поддержанию перегрузочной способности ЭШ и к качеству переходных процессов электропривода, а регулирование скорости осуществляется в пределах $(1,5 \div 2):1$, применяют разомкнутые системы управления ЭШ. При диапазоне плавного регулирования скорости, большем $(2 \div 3):1$, необходимо использовать замкнутые системы автоматического управления для получения соответствующих характеристик $\omega=f(M)$ и необходимой перегрузочной способности ЭШ в зоне низких частот вращения.

Преобразователь частоты на тиристорах обладает высокими энергетическими показателями, прост в управлении и имеет сравнительно малые габариты.

11-6. ЭЛЕКТРОПРИВОД И СХЕМА УПРАВЛЕНИЯ КРУГЛОШЛИФОВАЛЬНОГО СТАНКА

В средних и крупных круглошлифовальных станках система электрического управления сочетается с гидравлической. Примером может служить круглошлифовальный станок модели 3А161. Этот станок предназначен для наружного шлифования цилиндрических поверхностей изделий длиной до 1000 мм и диаметром до 280 мм; наибольший диаметр шлифовального круга 600 мм.

На рис. 11-12 приведена схема управления электроприводами станка. Привод шлифовального круга осуществляется от асинхронного короткозамкнутого двигателя $DШ$ мощностью 7 кВт при 98 рад/с. Путем смены шкивов клиноременной передачи можно получить два значения угловой скорости круга 111 и 127 рад/с. Поперечная подача шлифовальной бабки осуществляется как вручную (при наладочных работах), так и при помощи гидравлического устройства, управляемого с помощью электромагнитов (при автоматической работе).

Для вращения изделия применен комплектный электропривод ПМУ5М с двигателем постоянного тока параллельного возбуждения $ДИ$ типа ПБС-22 мощностью 0,85 кВт, угловая скорость которого плавно регулируется в пределах от 35 до 250 рад/с изменением напряжения, подводимого к якору от силового магнитного

ω_{y1} , следовательно, обмотка ω_{y2} осуществляет положительную обратную связь по току якоря двигателя. Ток I_{y2} можно изменять резистором $R2$. Угловая скорость двигателя регулируется изменением U_z путем перемещения рукоятки потенциометра $ПЗ$, которая связана также с движком резистора $R2$.

Стол станка получает возвратно-поступательное движение (продольную подачу) от гидропривода со скоростью от 100 до 600 мм/мин. Реверсирование стола производится в конце каждого хода переключением золотника гидроцилиндра при помощи упоров, привернутых к столу. На задней бабке стола установлен прибор для правки шлифовального круга алмазом. Насос гидросистемы станка приводится в движение двигателем $ДГ$ мощностью 1,7 кВт при 93 рад/с; насос охлаждающей жидкости вращается двигателем $ДН$ мощностью 0,125 кВт при 280 рад/с.

Перед пуском станка включается линейный выключатель $ВЛ$. При этом получают напряжение трансформаторы $Тр1$ и $Тр2$ и срабатывает реле $РОП$, контролирующее наличие тока в обмотке возбуждения двигателя изделия ОВДИ. Нажатием кнопки $КнПГ$ включают контактор $КГ$, и получают питание двигатель $ДГ$. Когда давление масла в гидросистеме достигнет необходимого уровня, замыкается контакт реле давления $РД$, после чего кнопкой $КнПШ$ включают контактор $КШ$, который главными контактами подает питание на двигатель круга $ДШ$.

Схема управления позволяет осуществить наладочный и автоматический режимы работы станка. В наладочном режиме выключатели $ВИ$, $ВН$ и $ВА1$ устанавливаются в положение *Ручн. упр.* Включение двигателя изделия $ДИ$ производят нажатием кнопки $КнПИ$. При этом включается контактор $КИ$, якорь двигателя присоединяется к усилителю $МУ$, и двигатель быстро разгоняется. Замыкается контакт реле контроля скорости $РКС$. Для отключения двигателя $ДИ$ нажимают кнопку $КнСИ$, при этом контактор $КИ$ теряет питание и включается контактор торможения $КТ$. Происходит процесс динамического торможения двигателя $ДИ$. При скорости, близкой к нулю, реле $РКС$ отключает контактор $КТ$.

Работа станка в автоматическом режиме происходит в такой последовательности: 1) быстрый

подвод гидроприводом шлифовальной бабки к изделию, включение двигателей $ДИ$ и $ДН$; 2) шлифование при черновой подаче, затем переход на чистовую подачу с работой «до упора»; 3) автоматический отвод шлифовальной бабки и выключение двигателей $ДИ$ и $ДН$.

Для выполнения данного режима переключатели $ВИ$, $ВН$ и $ВА1$ устанавливаются в положение *Авт. раб.*, а переключатель $ВА2$ — в положение *Раб. до упора*. Главную рукоятку управления станком наклоняют на себя, происходит быстрый подвод шлифовальной бабки до тех пор, пока кулачок механизма врезания круга не нажмет на микропереключатель $МПИ$, который подключает контакторы $КИ$ и $КН$. Получают питание и начинают вращаться двигатели $ДИ$ и $ДН$, а также включается гидропривод перемещения стола. Происходит обработка детали.

По окончании процесса черного шлифования кулачок механизма врезания круга нажимает на микропереключатель $МПД$, включается реле $РП1$ и получает питание электромагнит доводочной (чистовой) подачи $ЭмДП$, воздействующий на золотник гидропривода подачи шлифовальной бабки. Скорость поступательного движения бабки уменьшается. По достижении заданного размера нажимное устройство шлифовальной бабки через рычаг 2 нажимает на микропереключатель $МПО$ (см. узел a на рис. 11-12), получает питание реле $РП2$ и своим контактом замыкает цепь электромагнита отвода $ЭмО$, который переключает гидропривод шлифовальной бабки на быстрый отвод. При возвращении бабки в исходное положение размыкается контакт $МПИ$, теряют питание контакторы $КИ$ и $КН$, отключая своими главными контактами двигатели изделия и насоса охлаждения.

Защита электрооборудования от к.з. осуществляется предохранителями $Пр1$ — $Пр5$; защита двигателей $ДШ$, $ДГ$ и $ДИ$ от длительных перегрузок — тепловыми реле $РТШ$, $РТГ$ и $РТИ$.

На станке возможно применение прибора активного контроля типа АК-3. В этом случае переключатель $ВА2$ устанавливается в положение *Раб. со скобой* и управление циклом шлифования осуществляется в зависимости от действительных размеров деталей. Прибор АК-3 подключается к точкам схемы АК, и так же как и при работе «до упора», дает две команды — на переключе-

чение шлифовальной бабки на чистовую подачу и на быстрый отвод.

Часто цикл работы круглошлифовальных станков включает в себя так называемое «выхаживание», т.е. шлифование с выключенной подачей. Продолжительность выхаживания контролируется реле времени. В схеме управления в этом случае после замыкания контакта РП2 включается реле времени РВ, контакт которого вводится в цепь электромагнита ЭМО вместо контакта реле РП2 (указанные цепи обозначены на рис. 11-12 пунктирными линиями.)

Глава двенадцатая

ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ АГРЕГАТНЫХ СТАНКОВ

12-1. НАЗНАЧЕНИЕ И УСТРОЙСТВО АГРЕГАТНЫХ СТАНКОВ

Агрегатными называются специальные многоинструментальные станки, собираемые из стандартных (нормализованных) и специальных узлов или агрегатов. К стандартным узлам относятся силовые (шпиндельные) головки, поворотные столы, станины, гидравлические устройства (гидропанели, гидроприводы) и др.

Агрегатные станки предназначены для применения в условиях крупносерийного и массового производства для выполнения сверлильных, расточных, резбифрезерных и режущих — фрезерных и других работ. На электромашиностроительных заводах страны агрегатные станки применяются для обработки различных деталей электродвигателей: подшипниковых щитов, крышек, станин и т. п. Изделия на таких станках обрабатываются одновременно многими инструментами с одной, двух или нескольких сторон в зависимости от конфигурации детали, которая устанавливается и закрепляется на столе станка. Поэтому агрегатные станки отличаются более высокой производительностью, чем универсальные станки. При обработке изделий на агрегатных станках сокращаются число рабочих и производственные площади при том же объеме продукции.

На рис. 12-1 показан общий вид трехстороннего сверлильного многошпиндельного агрегатного станка с тремя силовыми головками 2. Две головки установлены

горизонтально и совершают перемещения по направляющим станины 1, третья головка расположена вертикально и перемещается по колонне 4. Все головки имеют одинаковое устройство и состоят из корпуса 2, шпиндельной коробки 3, в которой размещаются рабочие шпиндели с режущим инструментом, и приводного электродвигателя 7. Обрабатываемая заготовка закрепля-

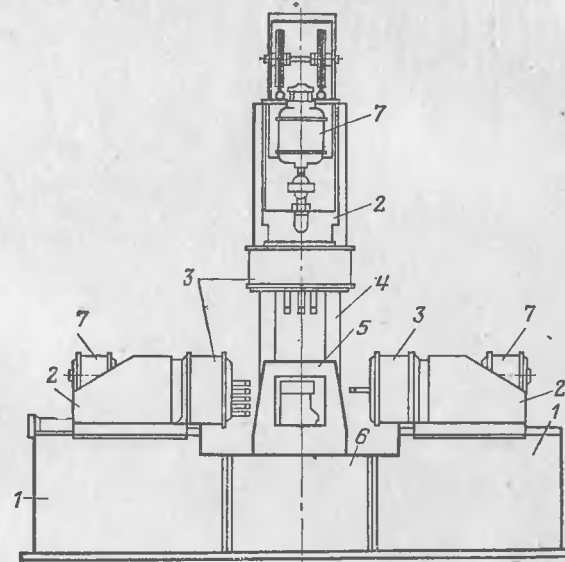


Рис. 12-1. Общий вид трехстороннего агрегатного сверлильного станка.

ется в приспособлении 5, которое устанавливается на подставке (стол) 6. При последовательной обработке нескольких заготовок вместо неподвижного приспособления 5 применяют поворотный стол, на котором крепятся заготовки.

Силовые головки выполняются с механической или гидравлической системой подачи. В современных агрегатных станках наибольшее распространение получили силовые головки с гидравлическим приводом подачи. Гидравлические головки делятся на самодействующие и несамодействующие.

В самодействующих силовых головках гидронасос и гидропанель (распределительное устройство гидросис-

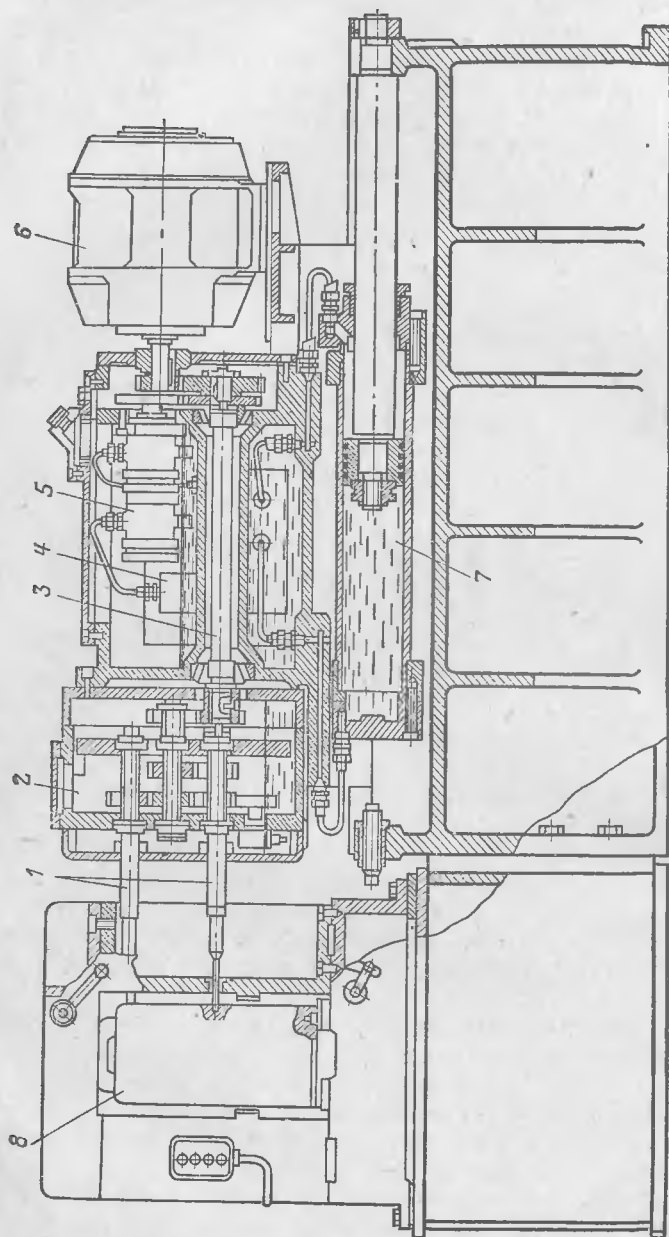


Рис. 12-2. Самодействующая силовая головка агрегатного станка.

темы) встроены в головку и совершают вместе с ней поступательное движение при подаче головки. Резервуаром для масла служит корпус головки. Кроме того, в таких головках шпиндели и гидронасос приводятся во вращение от одного электродвигателя, поэтому подача режущего инструмента при невращающихся шпинделях не может быть произведена.

Общий вид самодействующей силовой головки показан на рис. 12-2. С передней стенкой корпуса головки соединена болтами шпиндельная коробка 2, на кронштейне задней стенки установлен электродвигатель 6. В корпусе головки находятся гидронасос 5 и гидروпанель 4. Через вал 3 и зубчатые шестерни шпиндельной коробки получают вращение шпиндели 1 с инструментами. С нижней частью корпуса головки жестко соединен гидроцилиндр 7, шток поршня которого укреплен в станине станка. При подаче масла в левую полость цилиндра головка получает движение по направлению к детали 8, при подаче масла в правую полость — от детали.

Промышленность выпускает несколько типов самодействующих силовых головок с двигателями мощностью от 1,1 до 22 кВт и усилием подачи от 10 до 100 кН. Максимальный ход головок — от 250 до 1000 мм.

В несамодействующих силовых головках гидронасос и гидروпанель устанавливаются на станке вне силовой головки. Главный двигатель осуществляет только вращение шпинделей. Вращение насоса гидросистемы производится от отдельного двигателя. Для масла предусматривается отдельный резервуар.

Несамодействующие головки широко применяются в агрегатных многопозиционных станках, имеющих несколько силовых головок. В этом случае используется одна централизованная гидравлическая система, сокращается количество насосов и приводов к ним, но усложняется система трубопроводов.

Нарезание резьбы на агрегатных станках обычно производится с применением стандартных электромеханических разбковых головок. Подача такой головки осуществляется при помощи винтового механизма, приводимого во вращение от главного двигателя, чем достигается точное согласование движений резания и подачи. Реверсирование шпинделей и подачи осуществляется реверсированием двигателя.

12-2. ЦИКЛЫ ДВИЖЕНИЙ СИЛОВЫХ ГОЛОВОК АГРЕГАТНЫХ СТАНКОВ

В зависимости от назначения агрегатного станка и выполняемых на нем операций силовые головки могут совершать различные циклы движений. В наиболее распространенном цикле силовая головка с режущими инструментами сначала быстро подводится к детали,

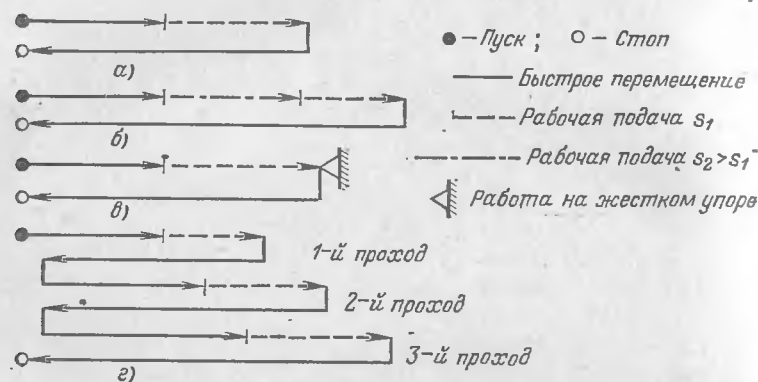


Рис. 12-3. Схемы циклов движений силовых головок агрегатных станков.

затем скорость движения снижается, и происходит рабочая подача. После окончания обработки головка быстро отводится в исходное положение (рис. 12-3, а). Управление производится автоматически в функции пути с помощью конечных выключателей, устанавливаемых на станине станка по ходу движения головки.

При обработке отверстий под болты комбинированным инструментом вначале производится их сверление (или зенкерование) с нормальной рабочей подачей s_2 , затем осуществляется автоматический переход на меньшую подачу s_1 , при которой производится зенкерование. Схема цикла движений головки для этого случая показана на рис. 12-13, б.

Для цековки торцевых поверхностей около рассверленных отверстий в конце рабочего хода производится вращение инструмента без подачи — работа на жестком упоре (рис. 12-3, в). Силовая головка останавливается, упираясь в специальный винт, установленный на

неподвижном кронштейне. Давление масла в гидросистеме повышается, и после выдержки времени, определяемой настройкой реле давления, головка возвращается в исходное положение.

При сверлении глубоких отверстий необходимо периодически выводить сверло из детали для удаления стружки и его охлаждения. Цикл движения силовой головки, соответствующий этому случаю, показан на рис. 12-3, г. По окончании сверления головка с инструментами отводится в исходное положение. Возможны и другие циклы движений силовых головок. Управление циклами производится, как правило, при помощи средств электроавтоматики.

12-3. РАСЧЕТ МОЩНОСТИ ДВИГАТЕЛЕЙ АГРЕГАТНЫХ СТАНКОВ

Главный привод агрегатных станков осуществляет, как правило, от асинхронных короткозамкнутых двигателей с внешним обдувом. Выбор мощности двигателя головки производится по наибольшей суммарной мощности резания рабочих шпинделей с учетом потерь в передачах

$$P_p = 1,25 P_z / \eta_{\text{ном, шп}}, \quad (12-1)$$

где 1,25 — коэффициент, учитывающий возможные изменения режимов резания; P_z — суммарная мощность резания всех шпинделей головки, кВт; $\eta_{\text{ном, шп}}$ — КПД шпиндельной коробки при номинальной нагрузке.

Так как двигатель головки часто не отключается во время пауз, следует учитывать нагрузку его в эти периоды, которая определяется потерями холостого хода шпиндельной коробки, т.е. $P_0 = a P_z$. Коэффициент a равен

$$a = 0,6 (a + b) \approx 0,6 (1 - \eta_{\text{ном, шп}}) / \eta_{\text{ном, шп}}, \quad (12-2)$$

где a и b — коэффициенты постоянных и переменных потерь в двигателе (см. § 7-3).

Учитывая, что угловая скорость двигателя во время его работы не изменяется, можно определить эквивалентную мощность по формуле

$$P_{\text{экв}} = \sqrt{\frac{P_p^2 t_p + P_0^2 t_0}{t_p + t_0}}, \quad (12-3)$$

где $t_0 = t_{\text{быстр, подв.}} + t_{\text{быстр, отв.}} + t_{\text{раб, на упоре}}$.

головки замыкается контакт *ВК1*, включается электромагнит *ЭМВ*, и головка вновь движется вперед. Осуществляется второй проход, при котором опять под действием упора *А* замыкается контакт *ВК3*, но реле *РП2* не включается, так как размыкающий контакт *РП3* разомкнут.

В процессе второго прохода упор *А* нажимает на переключатель *ВК4*, размыкающий контакт которого

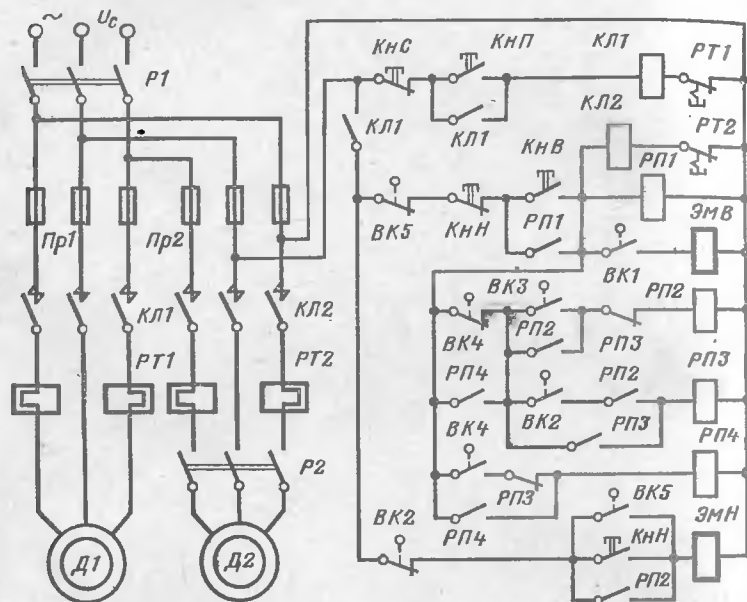


Рис. 12-5. Электрическая схема управления агрегатным станком для глубокого сверления.

отключает реле *РП3*, а замыкающий включает реле *РП4*. В конце второго прохода упором *Б* нажимается переключатель *ВК3*, включается реле *РП2* и головка быстро отводится назад. В исходном положении вновь размыкается контакт *ВК2*, включается реле *РП3*, отключается реле *РП2* и электромагнит *ЭМН* и включается *ЭМВ*. Совершается третий проход головки, в течение которого упоры 2 раза нажимают на переключатель *ВК3* и 1 раз — на *ВК4*, но реле *РП3* и *РП4* остаются включенными.

В конце сверления от упора *Г* срабатывает переключатель *ВК5*, размыкающий контакт которого отключает контакторы *КЛ2* и реле *РП1* — *РП4*, а замыкающий — включает электромагнит *ЭМН*. Происходит третий и последний в цикле быстрый отвод головки в исходное положение, в котором нажимаются переключатели *ВК2* и *ВК1*, но движение головки вперед не может произойти, так как реле *РП1* отключено. После установки очередной детали и нажатия кнопки *КНВ* осуществляется новый цикл работы силовой головки и т. д.

При нажатии кнопки *КНН* в любом промежуточном положении головки отключаются все реле и контактор *КЛ2*, включается электромагнит *ЭМН*, и силовая головка быстро отводится в исходное положение.

Глава тринадцатая

ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ АВТОМАТИЧЕСКИХ СТАНОЧНЫХ ЛИНИЙ

13-1. ОСНОВНЫЕ ТИПЫ АВТОМАТИЧЕСКИХ СТАНОЧНЫХ ЛИНИЙ

При обработке сложных деталей на универсальных и специальных станках затрачивается много вспомогательного времени на установку и закрепление заготовки, на измерения в процессе обработки, на снятие обработанной детали и транспортировку ее на другой станок. Стремление повысить производительность труда путем сокращения вспомогательного времени, а также применения обработки деталей одновременно с разных сторон и внедрения средств активного контроля за ходом обработки, привело к созданию автоматических станочных линий.

Автоматические линии в основном комплектуются из агрегатных станков, имеющих силовые головки с набором различных режущих инструментов для выполнения сверлильных, расточных, фрезерных и резьбонарезных работ. Наряду с агрегатными станками в автоматических линиях используются универсальные и специальные станки, например токарные, фрезерные, шлифовальные и другие быстро переналаживаемые